



TUGAS AKHIR - SS141501

**OPTIMASI *BORE DIAMETER, NETTO* DAN KETEBALAN
DINDING BOTOL PADA PROSES *BLOW MOLDING*
DENGAN METODE *PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS*
DAN *DESIRABILITY FUNCTION***

RETA NOORINA PRASTIKA
NRP 1311 100 090

Dosen Pembimbing
Dr. Sony Sunaryo, M.Si
Co. pembimbing
Dr. Muhammad Mashuri, M.T

JURUSAN STATISTIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - SS141501

OPTIMIZATION OF BORE DIAMETER, NETTO AND WALL THICKNESS OF BOTTLE IN BLOW MOLDING PROCESS USING PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS AND DESIRABILITY FUNCTION

RETA NOORINA PRASTIKA
NRP 1311 100 090

Supervisor
Dr. Sony Sunaryo, M.Si
Co. Supervisor
Dr. Muhammad Mashuri, M.T

DEPARTMENT OF STATISTICS
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

OPTIMASI *BORE DIAMETER, NETTO* DAN *KETEBALAN DINDING BOTOL* PADA PROSES *BLOW MOLDING* DENGAN METODE *PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS* DAN *DESIRABILITY FUNCTION*

Nama Mahasiswa : Reta Noorina Prastika
NRP : 1311 100 090
Jurusan : Statistika FMIPA-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Sony Sunaryo, M.Si
Co. Pembimbing : Dr. Muhammad Mashuri, M.T

ABSTRAK

PT.AM Surabaya adalah salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang kemasan plastik. Salah satu produk yang dihasilkan adalah botol 200 ml. Setyawan (2008) telah meneliti botol 200 ml untuk menentukan setting parameter temperatur die, blowing time, dan blowing pressure menggunakan metode response surface desirability function. Hasil setting parameter oleh Setyawan (2008) tidak mempertimbangkan korelasi antar respon. Oleh karena itu, penelitian ini akan dilakukan penentuan setting parameter botol 200 ml menggunakan Principal Component Analysis dan Desirability Function karena metode ini menggunakan data yang dinormalisasi dan mempertimbangkan korelasi antar respon, efek lokasi, dispersi dan interaksi, serta terpenuhinya batas spesifikasi. Berdasarkan analisis, diperoleh setting parameter untuk temperatur die sebesar 179,1°C, blowing time sebesar 5,602 detik, dan blowing pressure sebesar 4,844 bar. Hasil nilai prediksi respon bore diameter sebesar 29,05801 mm, netto sebesar 15,346 gram, ketebalan dinding s1 sebesar 0,8852 mm, ketebalan dinding s2 sebesar 0,8549 mm, ketebalan dinding s3 sebesar 0,3375 mm, ketebalan dinding s4 sebesar 0,5257 mm, dan ketebalan dinding s6 sebesar 0,7962 mm.

Kata kunci : *Kemasan Plastik, Principal Component Analysis dan Desirability Function, Temperatur die, Blowing Time, Blowing Pressure*

OPTIMIZATION OF BORE DIAMETER, NETTO AND WALL THICKNESS OF BOTTLE IN BLOW MOLDING PROCESS USING PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS AND DESIRABILITY FUNCTION

Name of Student : Reta Noorina Prastika
NRP : 1311 100 090
Department : Statistika FMIPA-ITS
Supervisor : Dr. Sony Sunaryo, M.Si
Co. Supervisor : Dr. Muhammad Mashuri, M.T

ABSTRACT

PT.AM Surabaya is one of company that is focused in plastic packaging. One of company's product is a plastic bottle of 200 ml. Setyawan (2008) have examined the bottle of 200 ml to determine parameter settings of die temperature, blowing time, and blowing pressure using response surface method desirability function. The results of parameter settings by Setyawan (2008) did not consider the correlation between the response. Therefore, this study will be conducted to determine the parameter settings of 200 ml bottles using Principal Component Analysis and desirability function because this method uses normalized data and considers the correlation between the response, the effects of location, dispersion and interaction, as well as the fulfillment of the specification limits. Based on the analysis, parameters setting for die temperature is 179,1°C, blowing time is 5,602 seconds, and blowing pressure is 4,844 bar. The results of the response prediction value of bore diameter is 29,05801 mm, net is 15,346 grams, the wall thickness of s1 is 0,8852 mm, wall thickness of s2 is 0,8549 mm, wall thickness of s3 is 0,3375 mm, wall thickness of s4 is 0,5257 mm, and wall thickness of s6 is 0,7962 mm.

Keywords: *Plastic Packaging, Principal Component Analysis and Desirability Function, Die Temperature, Blowing Time, Blowing Pressure*

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI BORE DIAMETER, NETTO DAN KETEBALAN DINDING BOTOL PADA PROSES BLOW MOLDING DENGAN METODE PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS DAN DESIRABILITY FUNCTION

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Program Studi S-1 Jurusan Statistika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
RETA NOORINA PRASTIKA
NRP. 1311 100 090

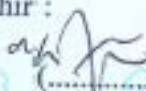

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. Sony Sunaryo, M.Si

NIP. 19640725 198903 1 001

Dr. Muhammad Mashuri, MT

NIP. 19620408 198701 1 001


.....

.....

Mengetahui
Ketua Jurusan Statistika FMIPA-ITS



Dr. Muhammad Mashuri, MT

NIP. 19620408 198701 1 001

SURABAYA, JANUARI 2015

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena berkat limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul ***“Optimasi Bore Diameter, Netto dan Ketebalan Dinding Pada Proses Blow Molding dengan Metode Principal Component Analysis dan Desirability Function”***.

Dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak terlepas peran dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Sony Sunaryo, M.Si selaku dosen pembimbing dan Bapak Dr. Muhammad Mashuri, M.T selaku Co. dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan arahan demi kelancaran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dra. Sri Mumpuni R, M.T dan Ibu Dra. Lucia Aridinanti, M.T selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Mashuri, M.T selaku ketua Jurusan Statistika ITS yang telah mendukung dan membimbing demi terselesaikannya Tugas Akhir ini.
4. Ibu Dr. Irhamah, M.Si selaku dosen wali yang telah membimbing dan memberikan arahan selama perkuliahan.
5. Ibu dan Bapak yang selalu memberi nasihat, mendoakan setiap hari, serta memberikan motivasi agar penulis tidak pernah menyerah dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Mas Frenky yang selalu menginspirasi dan mendorong penulis agar semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
6. Ibu Dr. Kartika Fithriasari, M.Si selaku dosen bidang komputasi yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran demi kelancaran Tugas Akhir.
7. Seluruh dosen Jurusan Statistika ITS yang telah memberikan ilmu dan bimbingan serta staf Jurusan Statistika ITS yang mendukung kelancaran Tugas Akhir ini.

8. Teman-teman seperjuangan Tugas Akhir yaitu Chusnul, Faroh Ayak, Kikik Hilda, Indah, Risma, Indana, Clara, dll yang telah berbagi suka duka bersama dan saling memberi motivasi demi kelancaran Tugas Akhir. Semoga indah pada waktunya.
9. Temen-teman spesial Ninis, Vini, Indah Utsu, Kiki F, Rizka Amalia yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis. Serta penulis mengucapkan terima kasih kepada Kiki F dan Epa yang dengan sabar membantu penulis saat kesulitan dalam pemrograman.
10. Teman-teman Sigma 22 yang telah memberikan dukungan dan kenangan indah bersama kalian selama perkuliahan.
11. Keluarga Divisi PSt HIMASTA-ITS Periode 2012/2013 dan Periode 2013/2014 serta Departemen Saintek BEM FMIPA ITS periode 2012/2013 yang memberikan kebersamaan yang indah selama berorganisasi. Penulis bangga menjadi bagian dari kalian.

Penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi hasil yang lebih baik. Semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat dan menjadi salah satu sumber wawasan untuk pembaca.

Surabaya, Januari 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	ii
TITLE PAGE	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Uji <i>Bartlett Sphericity</i>	7
2.2 Metode <i>Response Surface</i>	7
2.3 <i>Principal Component Analysis</i> (PCA)	8
2.4 <i>Desirability Function</i>	9
2.5 <i>Principal Component Analysis dan Desirability</i> <i>Function</i>	10
2.5.1 Tahap Pengumpulan Data.....	11
2.5.2 Tahap Pengembangan Model	11
2.5.3 Tahap Optimasi	12
2.6 Pengujian Model	14

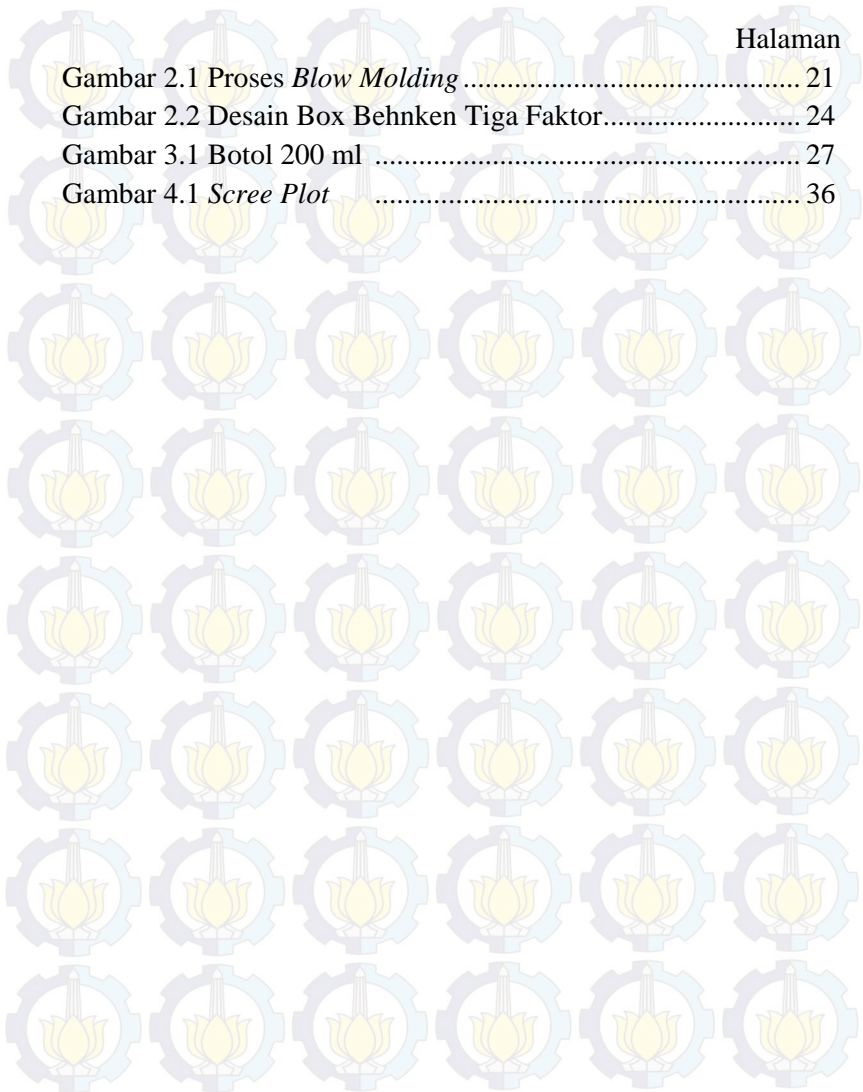
2.7 Pengujian Asumsi Residual	15
2.7.1 Asumsi Identik	15
2.7.2 Asumsi Independen	15
2.7.3 Asumsi Kenormalan	16
2.8 Plastik.....	16
2.9 Proses <i>Blow Molding</i>	19
2.10 Desain Box Behnken.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Rancangan Percobaan	25
3.2 Variabel Penelitian.....	26
3.2.1 Variabel Respon	26
3.2.2 Variabel Proses.....	27
3.2.3 Hubungan Antara Variabel Proses dengan Variabel Respon	29
3.3 Langkah Analisis	29
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Uji <i>Bartlett Sphericity</i>	33
4.2 Nilai Rata-rata dan Standar Deviasi Respon.....	33
4.3 Normalisasi Nilai Rata-rata dan Standar Deviasi Respon	34
4.4 Analisis <i>Principal Component Analysis (PCA)</i>	35
4.5 Analisis Response Surface dan Pengujian <i>Lack of Fit</i>	38
4.6 Pengujian Asumsi Residual Model <i>Response Surface</i>	43
4.6.1 Pengujian Asumsi Identik.....	43
4.6.2 Pengujian Asumsi Independen	45

4.6.3 Pengujian Distribusi Normal	45
4.7 Penentuan Nilai Target, Batas Bawah, dan Batas Atas Normalisasi Standar Deviasi Respon	46
4.8 Penentuan Nilai Target, Batas Bawah, dan Batas Atas Normalisasi Rata-rata Respon	47
4.9 Penentuan Nilai Target, Batas Bawah, dan Batas Atas Serta Fungsi Desirability Lima Komponen Utama	48
4.10 Penentuan <i>Setting</i> Parameter Optimal	52
4.11 Hasil Optimasi Bore Diameter, Netto, dan Ketebalan Dinding Botol	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	63
BIODATA PENULIS	133



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Proses <i>Blow Molding</i>	21
Gambar 2.2 Desain Box Behnken Tiga Faktor.....	24
Gambar 3.1 Botol 200 ml	27
Gambar 4.1 <i>Scree Plot</i>	36





(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 <i>Balanced Incomplete Block Designs</i>	22
Tabel 3.1 Struktur Data dan Rancangan Percobaan	25
Tabel 3.2 Variabel Respon	26
Tabel 4.1 <i>Eigenvalue</i>	35
Tabel 4.2 <i>Eigenvector</i> dari Normalisasi Rata-rata Respon.....	37
Tabel 4.3 <i>Eigenvector</i> dari Normalisasi Standar Deviasi Respon	37
Tabel 4.4 Pengujian <i>Lack of Fit</i>	42
Tabel 4.5 Hasil Uji Gletser	44
Tabel 4.6 Hasil Uji <i>Kolmogorov Smirnov</i>	45
Tabel 4.7 Nilai Target, Batas Bawah, dan Batas Atas Normalisasi Standar Deviasi	47
Tabel 4.8 Nilai Target, Batas Bawah, dan Batas Atas Normalisasi Rata-rata	48
Tabel 4.9 Nilai Target Lima Komponen Utama.....	49
Tabel 4.10 Nilai Batas Bawah dan Batas Atas Lima Komponen Utama	51
Tabel 4.11 Nilai Prediksi Respon dan <i>Individual Desirability</i> ...	57



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN 1. Data <i>Bore Diameter</i>	63
LAMPIRAN 2. Data <i>Netto</i>	64
LAMPIRAN 3. Data Ketebalan Dinding s1	65
LAMPIRAN 4. Data Ketebalan Dinding s2	66
LAMPIRAN 5. Data Ketebalan Dinding s3	67
LAMPIRAN 6. Data Ketebalan Dinding s4	68
LAMPIRAN 7. Data Ketebalan Dinding s6	69
LAMPIRAN 8. Normalisasi Rata-rata dan Standar Deviasi <i>Bore Diameter</i>	70
LAMPIRAN 9. Normalisasi Rata-rata dan Standar Deviasi <i>Netto</i>	71
LAMPIRAN 10. Normalisasi Rata-rata dan Standar Deviasi Ketebalan Dinding s1	72
LAMPIRAN 11. Normalisasi Rata-rata dan Standar Deviasi Ketebalan Dinding s2	73
LAMPIRAN 12. Normalisasi Rata-rata dan Standar Deviasi Ketebalan Dinding s3	74
LAMPIRAN 13. Normalisasi Rata-rata dan Standar Deviasi Ketebalan Dinding s4	75
LAMPIRAN 14. Normalisasi Rata-rata dan Standar Deviasi Ketebalan Dinding s6	76
LAMPIRAN 15. <i>Output Principal Component Analysis</i>	77
LAMPIRAN 16. <i>Output Response Surface</i> Normalisasi Rata-rata <i>Bore Diameter</i>	78

LAMPIRAN 17. <i>Output Response Surface</i> Normalisasi Rata-rata Netto.....	79
LAMPIRAN 18. <i>Output Response Surface</i> Normalisasi Rata-rata Ketebalan Dinding s1.....	80
LAMPIRAN 19. <i>Output Response Surface</i> Normalisasi Rata-rata Ketebalan Dinding s2.....	81
LAMPIRAN 20. <i>Output Response Surface</i> Normalisasi Rata-rata Ketebalan Dinding s3.....	82
LAMPIRAN 21. <i>Output Response Surface</i> Normalisasi Rata-rata Ketebalan Dinding s4.....	83
LAMPIRAN 22. <i>Output Response Surface</i> Normalisasi Rata-rata Ketebalan Dinding s6.....	84
LAMPIRAN 23. <i>Output Response Surface</i> Normalisasi Standar Deviasi <i>Bore Diameter</i>	85
LAMPIRAN 24. <i>Output Response Surface</i> Normalisasi Standar Deviasi <i>Netto</i>	86
LAMPIRAN 25. <i>Output Response Surface</i> Normalisasi Standar Deviasi Ketebalan Dinding s1	87
LAMPIRAN 26. <i>Output Response Surface</i> Normalisasi Standar Deviasi Ketebalan Dinding s2	88
LAMPIRAN 27. <i>Output Response Surface</i> Normalisasi Standar Deviasi Ketebalan Dinding s3	89
LAMPIRAN 28. <i>Output Response Surface</i> Normalisasi Standar Deviasi Ketebalan Dinding s4	90
LAMPIRAN 29. <i>Output Response Surface</i> Normalisasi Standar Deviasi Ketebalan Dinding s6	91
LAMPIRAN 30. <i>Output Response Surface</i> Komponen Utama 1 (PC ₁).....	92

LAMPIRAN 31. <i>Output Response Surface</i> Komponen Utama 2 (PC ₂).....	93
LAMPIRAN 32. <i>Output Response Surface</i> Komponen Utama 3 (PC ₃).....	94
LAMPIRAN 33. <i>Output Response Surface</i> Komponen Utama 4 (PC ₄).....	95
LAMPIRAN 34. <i>Output Response Surface</i> Komponen Utama 5 (PC ₅).....	96
LAMPIRAN 35. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Distribusi Normal Residual Normalisasi Rata-rata Respon	97
LAMPIRAN 36. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Distribusi Normal Residual Normalisasi Standar Deviasi Respon	98
LAMPIRAN 37. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Distribusi Normal Residual Komponen Utama (PC)	99
LAMPIRAN 38. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Rata-rata <i>Bore</i> <i>Diameter</i>	100
LAMPIRAN 39. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Rata-rata <i>Netto</i>	101
LAMPIRAN 40. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Rata-rata Ketebalan Dinding s1	102
LAMPIRAN 41. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Rata-rata Ketebalan Dinding s2	103

LAMPIRAN 42. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Rata-rata Ketebalan Dinding s3.....	104
LAMPIRAN 43. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Rata-rata Ketebalan Dinding s4.....	105
LAMPIRAN 44. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Rata-rata Ketebalan Dinding s6.....	106
LAMPIRAN 45. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Standar Deviasi <i>Bore Diameter</i>	107
LAMPIRAN 46. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Standar Deviasi <i>Netto</i>	108
LAMPIRAN 47. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Standar Deviasi Ketebalan Dinding s1.....	109
LAMPIRAN 48. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Standar Deviasi Ketebalan Dinding s2.....	110
LAMPIRAN 49. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Standar Deviasi Ketebalan Dinding s3.....	111
LAMPIRAN 50. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Standar Deviasi Ketebalan Dinding s4.....	112
LAMPIRAN 51. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Standar Deviasi Ketebalan Dinding s6.....	113

LAMPIRAN 52. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual PC1	114
LAMPIRAN 53. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual PC2	115
LAMPIRAN 54. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual PC3	116
LAMPIRAN 55. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual PC4	117
LAMPIRAN 56. <i>Output</i> Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual PC5	118
LAMPIRAN 57. Program <i>Desirability</i>	119
LAMPIRAN 58. Program Nonlinier	121
LAMPIRAN 59. Uji <i>Bartlett Sphericity</i>	124
LAMPIRAN 60. <i>Output Response Surface Bore Diameter</i>	125
LAMPIRAN 61. <i>Output Response Surface Netto</i>	126
LAMPIRAN 62 <i>Output Response Surface</i> Ketebalan Dinding s1	127
LAMPIRAN 63. <i>Output Response Surface</i> Ketebalan Dinding s2	128
LAMPIRAN 64. <i>Output Response Surface</i> Ketebalan Dinding s3	129
LAMPIRAN 65. <i>Output Response Surface</i> Ketebalan Dinding s4	130
LAMPIRAN 66. <i>Output Response Surface</i> Ketebalan Dinding S6	131



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era globalisasi ini industri manufaktur di Indonesia telah berkembang pesat. Salah satu bahan yang digunakan dalam industri manufaktur yang menjadi pusat perhatian adalah kemasan plastik. Keberadaan kemasan plastik ternyata mulai menggeser eksistensi gelas maupun kaca. Hal ini disebabkan karena biaya pembuatan kemasan yang berbahan dasar gelas atau kaca lebih mahal dibandingkan dengan kemasan produk yang berbahan dasar plastik. Menurut Kementerian Perindustrian RI (2013), industri plastik harus terus dikembangkan. Potensi dari konsumsi produk kemasan plastik di Indonesia masih cukup besar, baik di dalam maupun di luar negeri. Apalagi konsumsi nasional per kapita tiap tahun baru mencapai 10 kilogram. Hal ini relatif lebih rendah dibandingkan dengan negara ASEAN lainnya, seperti Singapura, Malaysia, dan Thailand, yang mencapai 40 kilogram per kapita per tahun.

Minimnya konsumsi kemasan plastik di Indonesia disebabkan oleh rendahnya kualitas kemasan plastik yang dihasilkan oleh industri plastik. Hal ini disebabkan karena banyaknya produk kemasan plastik yang tidak memenuhi spesifikasi perusahaan. Semua pelanggan berharap agar industri pembuat kemasan plastik mampu memproduksi dengan kualitas tinggi. Adanya tuntutan dari segi kualitas dan kepuasan pelanggan menjadikan industri pembuat kemasan plastik berupaya menghasilkan produk dengan karakteristik kualitas optimal, memenuhi batas spesifikasi yang ditetapkan, serta memerhatikan biaya produksi agar seefisien mungkin. Salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang kemasan plastik adalah PT.AM Surabaya.

PT.AM Surabaya adalah salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang kemasan plastik yang produksinya didasarkan pada sistem pesanan pelanggan yang menjadi mitra perusahaan tersebut (Setyawan, 2008). PT.AM Surabaya berupaya untuk

mempertahankan kualitas produk yang dihasilkan. Produk botol yang dihasilkan oleh PT. AM Surabaya sangat bervariasi, mulai dari 5 mililiter sampai 30 liter. PT. AM Surabaya memiliki fasilitas produksi, antara lain *blow molding*, *injection molding*, *injection blow molding*, *injection stretch blow molding*, *plastic tube making 5 layer*, *decoration*, *clean room*, dan *laboratory*. Banyak penelitian dilakukan pada produk yang dihasilkan oleh PT.AM Surabaya. Adapun tujuan dari penelitian tersebut adalah mengetahui kualitas botol plastik maupun menentukan *setting* parameter agar diperoleh karakteristik kualitas botol yang optimal. Bedanya, terletak pada produk yang diteliti dan metode yang digunakan. Penelitian di PT.AM Surabaya yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu berfokus pada proses *blow molding* pembuatan botol.

Penelitian mengenai proses *blow molding* pada botol telah dilakukan antara lain oleh Abdi (2005), Rodhy (2006), Patryadi (2006), dan Setyawan (2008). Abdi (2005) melakukan optimasi proses pembuatan botol produk *Johnson's Baby Oil* 50 ml pada proses *blow molding* dengan menggunakan metode *response surface* dan variabel proses yang digunakan adalah temperatur *barrel*, temperatur *die head*, dan *blowing time* sehingga menghasilkan nilai *netto* botol optimal. Rodhy (2006) melakukan optimasi botol *Chammomile* 60 ml pada proses *blow molding* dengan menggunakan metode *response surface* dan variabel proses yang digunakan adalah *barrel temperature zone 1*, *blowing time*, dan *blowing pressure* sehingga menghasilkan volume isi botol dan *inner mouth diameter* optimal. Patryadi (2006) melakukan penentuan *setting* parameter botol *Chammomile* 60 ml untuk menurunkan persentase cacat botol dengan metode Taguchi atribut. Karakteristik kualitas yang diteliti adalah kerataan permukaan mayor botol dan variabel proses yang digunakan adalah *barrel temperature*, *blowing time*, dan *blowing pressure*.

Setyawan (2008) melakukan optimasi botol 200 ml pada proses *blow molding* mesin Automa Plus AT2DS menggunakan variabel proses temperatur *die*, *blowing time*, dan *blowing*

pressure yang menghasilkan *bore diameter*, *netto*, dan ketebalan dinding (s1, s2, s3, s4, s6) optimal. Metode yang digunakan oleh Setyawan (2008) adalah *response surface* dengan pendekatan *desirability function*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa respon optimal terjadi pada *bore diameter* sebesar 29,2256 mm, *netto* botol sebesar 15,2425 gram, ketebalan dinding s1 sebesar 0,9098 mm, ketebalan dinding s2 sebesar 0,7958 mm, ketebalan dinding s3 sebesar 0,3717 mm, ketebalan dinding s4 sebesar 0,5857 mm, dan ketebalan dinding s6 sebesar 0,8179 mm dengan menggunakan *setting* parameter yaitu temperatur *die* sebesar 168,513°C, *blowing time* sebesar 5,901 detik, dan *blowing pressure* sebesar 7,730 bar. Kelemahan hasil *setting* parameter yang dilakukan Setyawan (2008) adalah penelitian ini tidak mempertimbangkan korelasi antar respon pada botol. Hal ini penting dilakukan karena berhubungan dengan ketepatan metode optimasi yang digunakan. Metode optimasi yang sesuai untuk optimasi dengan respon yang berkorelasi adalah metode optimasi multivariat. Salah satu metode yang digunakan untuk mengatasi respon yang berkorelasi adalah *Principal Component Analysis*.

Principal Component Analysis merupakan teknik multivariat untuk membentuk variabel baru yang tidak berkorelasi. Banyak peneliti yang melakukan optimasi dengan menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA) tetapi dengan pendekatan yang berbeda. Derringer dan Suich (1980) menggunakan metode *desirability function* untuk optimasi. Metode tersebut hanya mempertimbangkan efek lokasi pada respon, efek interaksi, jatuhnya objek dalam batas spesifikasi. Sementara, Su dan Tong (1997) mengaplikasikan metode PCA untuk optimasi. Metode tersebut ternyata hanya mempertimbangkan efek dispersi dan korelasi diantara respon. Kemudian, Salmasnia, Kazemzadeh, & Niaki (2012) mengusulkan sebuah metode optimasi multivariat yang mempertimbangkan efek lokasi, efek dispersi, efek interaksi, korelasi diantara respon, dan jatuhnya respon dalam batas spesifikasi yaitu *Principal Component Analysis* dan *Desirability Function*. Penelitian mengenai optimasi dengan menggunakan

Principal Component Analysis (PCA) dan *Desirability Function* mampu menghasilkan respon optimal. Kelebihan metode optimasi dengan *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Desirability Function* adalah pembentukan model *response surface* menggunakan data yang dinormalisasi serta memerhatikan hubungan antar respon yang saling berkorelasi secara serentak, efek lokasi dan dispersi, efek interaksi, serta mengutamakan jatuhnya respon dalam batas spesifikasi. Alasan-alasan tersebut mendasari peneliti untuk melakukan optimasi botol 200 ml pada proses *blow molding* di PT. AM dengan menggunakan metode *Principal Component Analysis* dan *Desirability Function*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang pada uraian sebelumnya maka dalam penelitian ini didapatkan permasalahan yang dirumuskan dalam perumusan masalah adalah bagaimana *setting* parameter yang tepat pada temperatur *die*, *blowing time*, dan *blowing pressure* yang mampu menghasilkan *bore diameter*, *netto*, dan ketebalan dinding botol optimal serta hasil optimasi *bore diameter*, *netto*, dan ketebalan dinding botol dengan metode *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Desirability Function*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah memperoleh *setting* parameter yang tepat pada temperatur *die*, *blowing time*, dan *blowing pressure* yang mampu menghasilkan *bore diameter*, *netto*, dan ketebalan dinding botol optimal serta mendapatkan hasil optimasi *bore diameter*, *netto*, dan ketebalan dinding botol dengan metode *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Desirability Function*.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan informasi yang dapat digunakan PT. AM Surabaya agar mampu menghasilkan *bore diameter*, *netto*,

ketebalan dinding optimal berdasarkan *setting* temperatur *die*, *blowing time*, dan *blowing pressure* yang tepat.

2. Dapat memberikan informasi bagi pembaca mengenai optimasi dengan metode *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Desirability Function*.

1.5 Batasan Masalah

Batasan permasalahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Botol yang dijadikan obyek penelitian adalah botol 200 ml pada proses *blow molding* dengan menggunakan mesin Automa Plus AT2DS.
2. Penelitian dibatasi pada metode *Principal Component Analysis* dan *Desirability Function*.
3. Karakteristik kualitas yang diteliti adalah *bore diameter*, *netto*, dan ketebalan dinding botol s1,s2,s3,s4,s6 dengan variabel proses yang digunakan adalah temperatur *die*, *blowing time*, *blowing pressure*.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Uji *Bartlett Sphericity*

Uji *Bartlett Sphericity* digunakan untuk menguji interdependensi atau korelasi antar variabel (Johnson & Wichern, 2007).

Hipotesis :

$H_0 : R = I$ (Tidak ada interdependensi antar variabel)

$H_1 : R \neq I$ (Terdapat interdependensi antar variabel)

Statistik uji yang digunakan adalah

$$\chi_{hitung}^2 = - \left\{ n - 1 - \frac{2p+5}{6} \right\} \ln |R| \quad (2.1)$$

Daerah kritis : Tolak H_0 jika $\chi_{hitung}^2 > \chi_{\frac{1}{2}p(p-1), \alpha}^2$

2.2 Metode *Response Surface*

Metode *response surface* adalah merupakan kumpulan teknik matematika dan statistika yang digunakan untuk pemodelan dan analisis permasalahan yang responnya dipengaruhi oleh beberapa variabel serta digunakan untuk mengoptimasi respon. Model *response surface* secara umum dapat dilihat pada Persamaan (2.2) sebagai berikut.

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + \varepsilon \quad (2.2)$$

Dimana :

y adalah variabel respon

x_i adalah faktor, $i = 1, 2, \dots, k$

ε adalah residual dengan asumsi IIDN $(0, \sigma^2)$

Banyak permasalahan terjadi dalam bentuk hubungan antara variabel respon dan variabel independen tidak diketahui. Oleh karena itu, langkah pertama dalam metode *response surface* adalah menemukan pendekatan yang sesuai untuk hubungan fungsional yang tepat antara variabel respon dengan variabel

independen menggunakan model *response surface* orde satu pada Persamaan (2.3) sebagai berikut.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2.3)$$

Apabila terdapat *curvature* atau kelengkungan maka analisis *polynomial* dengan derajat lebih tinggi digunakan yaitu model *response surface* orde kedua dengan model pada Persamaan (2.4) sebagai berikut (Montgomery, 1997).

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (2.4)$$

2.3 Principal Component Analysis (PCA)

Principal Component Analysis (PCA) berfokus pada penjelasan struktur varians-kovarians dari sekumpulan variabel melalui beberapa kombinasi linier variabel tersebut. Fungsi dari *Principal Component Analysis* (PCA) adalah mereduksi data dan interpretasi. Meskipun sebanyak p disyaratkan untuk menghasilkan variabilitas sistem total, seringkali variabilitas tersebut dapat dihitung dengan sejumlah kecil k komponen utama. Sehingga informasi sebanyak k komponen seperti ada dalam p variabel asli. Sebanyak k komponen utama dapat menggantikan sebanyak p variabel awal dan sekumpulan data awal yang terdiri dari n pengukuran dalam p variabel dapat dikurangi untuk sekumpulan data yang terdiri dari n pengukuran pada komponen utama ke- k (Johnson & Wichern, 2007).

Menurut Salmasnia, Kazemzadeh, & Niaki (2012), *Principal Component Analysis* (PCA) merupakan teknik untuk membentuk variabel baru yang tidak berkorelasi melalui kombinasi linier variabel asli. Jumlah maksimum variabel baru yang dapat dibentuk sama dengan jumlah variabel asli. Komponen dengan nilai *eigenvalue* lebih dari satu dapat dipilih untuk mengganti variabel asli untuk analisis lebih lanjut (Kaiser, 1960). Jika diasumsikan ada variabel asli sebanyak p yaitu x_1, x_2, \dots, x_p maka *Principal Component Analysis* dapat diperoleh sebanyak p

kombinasi linier yang tidak berkorelasi dengan formula sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 PC_1 &= w_{11}x_1 + w_{12}x_2 + \dots + w_{1p}x_p \\
 PC_2 &= w_{21}x_1 + w_{22}x_2 + \dots + w_{2p}x_p \\
 &\vdots \\
 PC_p &= w_{p1}x_1 + w_{p2}x_2 + \dots + w_{pp}x_p
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

Dimana PC_1, PC_2, \dots, PC_p merupakan komponen utama sebanyak p dan w_{ij} adalah bobot dari variabel ke- j untuk komponen utama ke- i .

2.4 Desirability Function

Pendekatan *Desirability Function* atau fungsi *desirability* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk optimasi multi respon. Adapun persamaan untuk fungsi *desirability* adalah sebagai berikut.

$$D = (d_1(x)d_2(x) \dots d_n(x))^{1/n} \tag{2.6}$$

Dimana :

D = *desirability* total
 $d_n(x)$ = fungsi *desirability* individu
 n = jumlah respon

Menurut Derringer dan Suich (1980), metode *desirability* memiliki tiga cara untuk menyelesaikan optimasi respon adalah sebagai berikut.

a. Nominal The Best (NTB)

Pada *Nominal The Best* ini nilai maksimum dari \hat{y}_i adalah nilai yang paling diinginkan. Fungsi *desirability* untuk *Nominal The Best* adalah sebagai berikut.

$$d_i(x) = \begin{cases} \left(\frac{\hat{y}_i(x) - lb_i}{\tau_i - lb_i} \right)^{r_i}, & lb_i \leq \hat{y}_i(x) \leq \tau_i \\ \left(\frac{\hat{y}_i(x) - ub_i}{\tau_i - ub_i} \right)^{r_i}, & \tau_i < \hat{y}_i(x) \leq ub_i \\ 0, & \hat{y}_i(x) < lb_i \text{ atau } \hat{y}_i(x) > ub_i \end{cases} \tag{2.7}$$

Dimana : lb_i = nilai minimum spesifikasi respon ke- i

ub_i = nilai maksimum spesifikasi respon ke- i

τ_i = nilai target spesifikasi respon ke- i

r_i = bobot fungsi *desirability* respon ke- i

\hat{y}_i = nilai prediksi respon ke- i

b. *Larger The Better* (LTB)

Fungsi *desirability* untuk *Larger The Better* adalah sebagai berikut.

$$d_i(x) = \begin{cases} 0, & \hat{y}_i(x) \leq lb_i \\ \left(\frac{\hat{y}_i(x) - lb_i}{ub_i - lb_i} \right)^{r_i}, & lb_i < \hat{y}_i(x) \leq ub_i \\ 1, & \hat{y}_i(x) \geq ub_i \end{cases} \quad (2.8)$$

Dimana : lb_i = nilai minimum spesifikasi respon ke- i

ub_i = nilai maksimum spesifikasi respon ke- i

r_i = bobot fungsi *desirability* respon ke- i

\hat{y}_i = nilai prediksi respon ke- i

c. *Smaller The Better* (STB)

Fungsi *desirability* untuk *Smaller The Better* adalah sebagai berikut.

$$d_i(x) = \begin{cases} 1, & \hat{y}_i(x) \leq lb_i \\ \left(\frac{\hat{y}_i(x) - lb_i}{ub_i - lb_i} \right)^{r_i}, & lb_i < \hat{y}_i(x) \leq ub_i \\ 0, & \hat{y}_i(x) \geq ub_i \end{cases} \quad (2.9)$$

Dimana : lb_i = nilai minimum spesifikasi respon ke- i

ub_i = nilai maksimum spesifikasi respon ke- i

r_i = bobot fungsi *desirability* respon ke- i

\hat{y}_i = nilai prediksi respon ke- i

2.5 Principal Component Analysis dan Desirability Function

Metode *Principal Component Analysis* (PCA) digunakan untuk optimasi multirespon yang berkorelasi, tetapi tidak dengan tepat mempertimbangkan efek lokasi semua respon, mengabaikan efek dispersi respon, serta tidak mengutamakan jatuhnya titik objek dalam daerah penerimaan (batas spesifikasi). Kemudian, dikembangkan metode yang mampu mempertimbangkan efek

lokasi dan dispersi, korelasi antar respon, dan mengutamakan jatuhnya semua objek dalam daerah penerimaan yaitu *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Desirability Function*. Prosedur *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Desirability Function* terdiri dari tiga tahap, yaitu tahap pengumpulan data, tahap pengembangan model, dan tahap optimasi. Adapun penjelasan masing-masing tahap adalah sebagai berikut (Salmasnia, Kazemzadeh, & Niaki, 2012).

2.5.1. Tahap Pengumpulan data

Step 0 : Mengidentifikasi variabel kontrol yang signifikan.

Step 1 : Memilih desain variabel yang sesuai.

2.5.2. Tahap Pengembangan Model

Step 2 : Menghitung rata-rata dan standar deviasi sampel respon ke- j pada setiap eksperimen ke- i dengan rumus sebagai berikut.

$$\bar{y}_{ij} = \sum_{k=1}^m y_{ijk} \quad (2.10)$$

$$S_{ij} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (y_{ijk} - \bar{y}_{ij})^2} \quad (2.11)$$

Dimana : y_{ijk} = eksperimen ke- i untuk respon ke- j pada replikasi ke- k

\bar{y}_{ij} = rata-rata sampel respon ke- j pada setiap eksperimen ke- i

S_{ij} = standar deviasi sampel respon ke- j pada setiap eksperimen ke- i

$i=1,2,\dots,n$, $j=1,2,\dots,r$, $k=1,2,\dots,m$

Step 3 : Menghitung nilai normalisasi rata-rata dan standar deviasi sampel respon ke- j pada setiap eksperimen ke- i dengan rumus sebagai berikut.

$$y'_{ij} = \frac{\bar{y}_{ij} - \bar{y}_{j\mu}}{S_{j\mu}} \quad (2.12)$$

$$S'_{ij} = \frac{S_{ij} - \bar{y}_{j\sigma}}{S_{j\sigma}} \quad (2.13)$$

Dimana : \bar{y}_{ij} = rata-rata sampel dari respon ke- j pada setiap eksperimen ke- i

S_{ij} = standar deviasi sampel dari respon ke- j pada setiap eksperimen ke- i

$\bar{y}_{j\mu}$ = rata-rata \bar{y}_{ij}

$\bar{y}_{j\sigma}$ = rata-rata S_{ij}

$S_{j\mu}$ = standar deviasi dari \bar{y}_{ij}

$S_{j\sigma}$ = standar deviasi dari S_{ij}

y'_{ij} = nilai normalisasi dari \bar{y}_{ij}

S'_{ij} = nilai normalisasi dari S_{ij}

Step 4 : Melakukan analisis komponen utama (PCA) dengan menggunakan nilai normalisasi rata-rata dan standar deviasi sampel respon dan memperoleh sekumpulan komponen yang tidak berkorelasi yang merupakan kombinasi linier dari normalisasi rata-rata dan standar deviasi sampel respon. Memilih jumlah komponen utama berdasarkan variasi kumulatif respon dan *eigenvalue*.

Step 5 : Membentuk model *response surface* yang sesuai (*fitted response surfaces*) dari normalisasi rata-rata respon (NM), normalisasi standar deviasi respon (NSD), dan komponen utama (PC) terpilih.

2.5.3. Tahap Optimasi

Step 6 : Menentukan nilai target dari normalisasi standar deviasi (NSD) dari respon ke- j dengan cara meminimumkan *fitted response* dalam daerah eksperimen dengan rumus sebagai berikut.

$$T'_{j\sigma} = \min_{x \in \Omega} \hat{y}_{j\sigma}(x) \quad \text{untuk } j=1,2,\dots,r \quad (2.14)$$

Dimana : $T'_{j\sigma}$ = nilai target dari normalisasi standar deviasi respon ke- j

$\hat{y}_{j\sigma}$ = *fitted response surface* dari normalisasi standar deviasi respon ke- j

Ω = daerah eksperimen

Step 7 : Menghitung nilai target, batas bawah dan atas untuk daerah yang diharapkan dari normalisasi rata-rata respon dengan rumus sebagai berikut.

$$T'_{j\mu} = \frac{T_{j\mu} - \bar{y}_{j\mu}}{S_{j\mu}} \quad (2.15)$$

$$\dot{y}_{j\mu}^{\min} = \frac{y_{j\mu}^{\min} - \bar{y}_{j\mu}}{S_{j\mu}} \quad (2.16)$$

$$\dot{y}_{j\mu}^{\max} = \frac{y_{j\mu}^{\max} - \bar{y}_{j\mu}}{S_{j\mu}} \quad (2.17)$$

Dimana : $T'_{j\mu}$ = nilai target dari normalisasi rata-rata respon ke- j

$T_{j\mu}$ = nilai target respon ke- j

$\bar{y}_{j\mu}$ = rata-rata \bar{y}_{ij}

$S_{j\mu}$ = standar deviasi dari \bar{y}_{ij}

$y_{j\mu}^{\min}$ = nilai minimum batas spesifikasi respon ke- j

$y_{j\mu}^{\max}$ = nilai maksimum batas spesifikasi respon ke- j

Step 8 : Menghitung nilai target, batas atas, dan batas bawah untuk daerah yang diharapkan dari komponen utama (PC). Kemudian membentuk *desirability function*. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$T_{PC_l} = PC_l(\hat{T}_\mu, \hat{T}_\sigma) \quad (2.18)$$

minimumkan $PC_l(\dot{y}_\mu, \dot{y}_\sigma)$

$$s.t \ \dot{y}_{j\mu}^{\min} \leq \dot{y}_{j\mu} \leq \dot{y}_{j\mu}^{\max} \quad j = 1, 2, \dots, r \quad (2.19)$$

$$T'_{j\sigma} \leq \dot{y}_{j\sigma} \leq \dot{y}_{j\sigma}^{\max} \quad j = 1, 2, \dots, r$$

memaksimumkan $PC_l(\dot{y}_\mu, \dot{y}_\sigma)$

$$s.t \ \dot{y}_{j\mu}^{\min} \leq \dot{y}_{j\mu} \leq \dot{y}_{j\mu}^{\max} \quad j = 1, 2, \dots, r \quad (2.20)$$

$$T'_{j\sigma} \leq \dot{y}_{j\sigma} \leq \dot{y}_{j\sigma}^{\max} \quad j = 1, 2, \dots, r$$

Dimana : T_{PC_l} = nilai target dari komponen utama ke- l .

PC_l = komponen utama ke- l .

\hat{T}_μ = vektor target untuk normalisasi rata-rata respon

\hat{T}_σ = vektor target untuk normalisasi standar deviasi respon

$T'_{j\sigma}$ = nilai target dari normalisasi standar deviasi respon ke- j

$\hat{y}_{j\mu}$ = vektor normalisasi rata-rata respon

$\hat{y}_{j\sigma}$ = vektor normalisasi standar deviasi respon

$\hat{y}_{j\mu}^{min}$ = nilai minimum yang diharapkan untuk normalisasi rata-rata respon ke- j

$\hat{y}_{j\mu}^{max}$ = nilai maksimum yang diharapkan untuk normalisasi rata-rata respon ke- j

Step 9 : Memperoleh solusi optimal (x^*) dengan menyelesaikan model optimasi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

memaksimumkan $[\prod_l d(PC)_l]$ (2.21)

$$\begin{aligned} s. t : \hat{y}_{j\mu}^{min} &\leq \hat{y}_{j\mu}(x) \leq \hat{y}_{j\mu}^{max} \\ T'_{j\sigma} &\leq \hat{y}_{j\sigma}(x) \leq \hat{y}_{j\sigma}^{max} \\ x &\in \Omega \end{aligned}$$

Model tersebut bertujuan untuk mengidentifikasi (x^*) yang memaksimumkan keseluruhan *desirability* komponen utama terpilih dalam daerah yang diharapkan dari normalisasi rata-rata dan normalisasi standar deviasi respon asli (Salmasnia, Kazemzadeh, & Niaki, 2012).

2.6 Pengujian Model

Pengujian model dilakukan dengan menggunakan *lack of fit*. Uji *Lack of Fit* adalah pengujian yang bertujuan untuk memeriksa kesesuaian model.

Hipotesis yang digunakan dalam pengujian *lack of fit* adalah sebagai berikut.

H_0 : Model sesuai atau tidak ada *lack of fit*

H_1 : Model tidak sesuai atau terdapat *lack of fit*

Statistik uji yang digunakan adalah

$$F_o = \frac{MS_{LOF}}{MS_{PE}} \quad (2.22)$$

dimana daerah penolakan yang digunakan adalah dengan membandingkan nilai F_o dengan $F_{\alpha, n-p, N-n}$. Keputusan untuk menolak H_0 terjadi jika $F_o > F_{\alpha, n-p, N-n}$.

2.7 Pengujian Asumsi Residual

Residual didefinisikan sebagai selisih atau $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$, $i=1,2,\dots,n$ dimana Y_i adalah nilai amatan sedangkan \hat{Y}_i adalah nilai dugaan dari parameter regresi. Berdasarkan definisi tersebut maka residual adalah selisih antara nilai sebenarnya yang diamati dengan nilai prediksi dari model regresi yang sesuai (Draper & Smith, 1996). Pemeriksaan asumsi residual meliputi asumsi identik, independen, dan distribusi normal atau IIDN $(0, \sigma^2)$. Adapun penjelasan mengenai pemeriksaan asumsi residual adalah sebagai berikut.

2.7.1. Asumsi Identik

Asumsi identik adalah variansi residual bersifat identik atau konstan yang disebut dengan homoskedastisitas. Sementara apabila residual tidak identik maka disebut heteroskedastisitas. Salah satu cara untuk melakukan pengujian asumsi keidentikan adalah dengan membuat plot antara nilai residual e_i dengan variabel prediktor (secara visual). Jika penyebaran datanya acak dan tidak menunjukkan pola tertentu maka asumsi identik terpenuhi. Pendeteksian lebih lanjut dapat dilakukan dengan menggunakan uji Gletser dengan cara meregresikan absolut residual dengan variabel prediktor (Gujarati, 2004).

2.7.2. Asumsi Independen

Asumsi independen terjadi jika $cov(e_i, e_j) = 0$ untuk setiap $i \neq j$. Pengujian asumsi independen dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat dependensi (keterkaitan) antara residual pada pengamatan ke- t dengan pengamatan ke- $t+k$ dengan selisih waktu t . Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui dependensi antar residual adalah *autocorrelation function* (ACF). Wei (2006) menunjukkan formula untuk menguji asumsi independen residual adalah

$$\rho_k = \frac{cov(e_t, e_{t+k})}{\sqrt{var(e_t)}\sqrt{var(e_{t+k})}} \quad (2.23)$$

Apabila hasil plot ACF pada residual tidak menunjukkan adanya lag yang keluar dari batas signifikansi yaitu $\pm \frac{2}{\sqrt{n}}$ maka

dapat dikatakan bahwa tidak ada autokorelasi artinya asumsi independen telah dipenuhi oleh model.

2.7.3. Asumsi Kenormalan

Asumsi kenormalan memiliki makna bahwa residual berdistribusi normal dengan *mean* nol dan varians konstan. Pengujian asumsi kenormalan dapat dilakukan dengan membuat plot antara residual dengan nilai probabilitas normal. Selain itu, pengujian asumsi residual berdistribusi normal dapat dilakukan dengan menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov* dengan hipotesis sebagai berikut (Daniel, 1989).

H_0 : residual berdistribusi normal

H_1 : residual tidak berdistribusi normal

Statistik uji yang digunakan adalah

$$D_{hitung} = \text{Sup } |S(x) - F_0(x)| \quad (2.24)$$

dengan :

$S(x)$: proporsi nilai-nilai pengamatan dalam sampel yang kurang dari atau sama dengan x .

$F_0(x)$: fungsi distribusi yang diketahui (distribusi normal).

D_{hitung} : Supremum untuk semua x yang berasal dari nilai mutlak beda $S(x)$ dan $F_0(x)$.

Adapun daerah penolakan adalah tolak H_0 jika $D_{hitung} > D_{1-\alpha}$ atau dengan membandingkan *p-value* dengan tingkat signifikansi $\alpha=0,05$. Tolak H_0 jika *p-value* $< \alpha$.

2.8 Plastik

Dewasa ini banyak industri pembuat botol yang menggunakan plastik sebagai bahan alternatif pengganti logam. Hal ini disebabkan karena semakin mahalnya harga dan kelangkaan logam. Material pembuat produk botol plastik terdiri dari bermacam-macam jenis bahan. Penggunaan jenis bahan dalam pembuatan botol plastik tergantung dari karakteristik produk yang akan dibuat. Bahan yang dipakai dalam pembuatan botol plastik adalah polimer. Polimer merupakan bahan yang molekul-molekulnya terdiri dari unit-unit ulangan yang disebut monomer (Belofsky, 1995). Proses pembuatan polimer disebut

polimerisasi, dimana terjadi persenyawaan dari monomer atau satu molekul menjadi makro molekul. Monomer terdiri dari unsur-unsur kimia antara lain karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N), dan Halogen (F, Cl, Br, I). Hasil dari proses polimerisasi adalah resin. Adapun jenis resin ada 2, yaitu sebagai berikut (Belofsky, 1995).

1. *Thermoplastic*, sifatnya memiliki unsur pasical (ikatan atomnya berubah tapi jumlah unsurnya tetap). Pada suhu kamar bersifat padat. *Thermoplastic* mampu untuk dibentuk ulang.
2. *Thermosetting*, sifatnya pada suhu kamar berbentuk padat dan tidak dapat didaur ulang.

Sebagian besar pabrik kemasan plastik menggunakan jenis bahan baku berupa resin *thermoplastic* seperti (Belofsky, 1995) :

1. *Polivinyll Chlorida*, memiliki sifat-sifat sebagai berikut.
 - a. Tidak tahan terhadap cairan pelarut
 - b. Kaku tetapi jika diberi *plasticizer* menjadi lunak
 - c. Mudah terbakar pada temperature tinggi
 - d. Mempunyai daya elektrositas tinggi
 - e. Transparan
 - f. Kemampuan untuk dapat tembus air cukup bagus
 - g. Menimbulkan aroma kurang sedap yang disebabkan oleh *chloride*-nya

Berdasarkan jumlah *additive impact modifier* yang ditambahkan pada material PVC sehingga material tersebut dibagi menjadi beberapa macam, yaitu PVC *normal impact*, PVC *medium impact*, PVC *high impact*, dan PVC *super high impact*. Semakin banyak kandungan *impact modifier*-nya maka akan semakin kuat materialnya. Dampak yang timbul karena penambahan aditif adalah tingkat kejernihan material akan semakin berkurang serta *density* (berat jenis) dan *viscosity* juga akan berubah.

2. *Polyethylene*, memiliki sifat-sifat sebagai berikut.
 - a. Ulet dan kuat
 - b. Lebih kaku dibandingkan dengan jenis material

- c. Transparan tetapi agak buram
- d. Tahan terhadap cairan pelarut
- e. Mempunyai daya elektrostatis kecil
- f. Kemampuan untuk dapat ditembus air lebih bagus jika dibandingkan dengan PVC

Material *Polyethylene* dapat dibedakan menjadi empat bagian, yaitu :

- a. *Linier Low Density Polyethylene* (LLDPE)
- b. *Low Density Polyethylene* (LDPE)
- c. *High Density Polyethylene* (HDPE)
- d. *High Molecule Polyethylene* (HMPE)

3. *Polypropylene*, memiliki sifat-sifat sebagai berikut.

- a. Bersifat tembus cahaya
- b. Kemampuan untuk dapat tembus air rendah
- c. Fleksibel
- d. Tahan terhadap cairan pelarut
- e. *Impact strength* lebih kecil dibandingkan dengan material PVC
- f. Pada umumnya dapat dipakai untuk proses pada *blow molding*, *injection molding*, dan *extrusion molding*
- g. Harus melalui proses *pre-heating* pada saat proses *printing*
- h. Untuk *blow molding* memiliki nilai MFI antara 0,35-0,4 untuk material HMPE dan 1-3 untuk material HDPE.

Material *Polypropylene* dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

- a. *Polypropylene* Homopolimer, yaitu suatu jenis PP yang di dalam proses pembuatannya belum banyak penambahan zat aditif dan dapat dikatakan juga sebagai proses polimerisasi awal.
- b. *Polypropylene* Kopolimer, yaitu suatu jenis *Polypropylene* yang pada saat pembuatannya terjadi proses kopolimerisasi ulang dimana ada penambahan aditif-aditif tertentu yang bertujuan untuk mengubah sifat material tersebut ke tingkat yang lebih baik.

4. *Polystyrene*, memiliki sifat-sifat sebagai berikut.
 - a. Transparan untuk *normal impact*, semi *opaque* untuk *high impact*
 - b. Kaku dan mudah rapuh untuk *normal impact*, agak fleksibel, dan ulet untuk *high impact*
 - c. Mudah terjadi oksidasi
 - d. Biasanya hanya diproses pada mesin *injection molding*
 - e. Tidak tahan terhadap cairan pelarut/cairan dengan kandungan alkohol tinggi
 - f. Higroskopis untuk jenis material *acrylic styrene*. Temperatur pada proses *Polystyrene* terjadi antara 200°C–220°C karena sifat alirannya sangat encer seperti tidak memiliki kekentalan sehingga mudah diinjeksikan. *Polystyrene* tidak bersifat higroskopis sebab tidak tahan terhadap bensin dan alkohol kadar tinggi.
5. *Polyethylene Terephthalate*, memiliki sifat-sifat sebagai berikut.
 - a. Sangat transparan
 - b. Hasil berupa kabut untuk *raw material*
 - c. *Impact strength* sangat tinggi
 - d. Kemampuan untuk dapat ditembus air tinggi
 - e. Bersifat higroskopis
 - f. Tahan terhadap solven

2.9 Proses *Blow Molding*

Proses *blow molding* dimulai dari bahan baku plastik dimasukkan ke dalam *hopper*. Kemudian dari *hopper*, material turun ke bagian *extruder screw* yang dipanaskan hingga leleh di dalam suatu barrel. Di dalam *barrel* terdapat *screw* yang berputar terus-menerus sehingga bahan yang ada di dalam *barrel* dilanjutkan ke dalam *flange* kemudian *die head* dan diteruskan ke *die pin*. Dari *die pin*, material keluar berbentuk selongsongan (*parison*) kemudian ditangkap oleh *blow mold*. *Parison* yang terjepit diantara belahan dua *mold* ditiup dengan *pressure* hingga mengembang dan menempel ke dinding-dinding *mold*. Tiupan dipertahankan untuk beberapa saat sampai dengan proses pendinginan dari *cooling mold* bekerja. Setelah plastik menjadi

padat dan cukup kuat, tiupan dihentikan dan kemudian produk dikeluarkan dari dalam *mold* (Setyawan, 2008).

Bagian-bagian mesin pada proses *blow molding* dibagi menjadi tiga bagian, yaitu *extruder unit*, *clamping unit*, dan *calibration unit*. Adapun penjelasan masing-masing bagian dari mesin pada proses *blow molding* adalah sebagai berikut.

1. *Extruder Unit*

Extruder Unit adalah alat yang digunakan untuk mengubah plastik padat menjadi cair dan mengeluarkannya menjadi bentuk selongsong/*parison*. Adapun komponen-komponen *extruder unit* adalah sebagai berikut.

a. *Barrel*

Barrel umumnya dilengkapi dengan pemanas, *conditioning*, dan pendingin (*feeding zone*). *Conditioning* berfungsi untuk mengendalikan dan memonitor material agar tidak terjadi panas yang berlebihan (*over heat*). Pendingin di atas *barrel* dan di bawah *hopper* berfungsi untuk menjaga agar material tidak menggumpal pada lubang *hopper*. Pemanas pada *barrel* biasanya terbagi menjadi tiga atau empat zona. *Barrel* dibagi menjadi dua macam, yaitu :

1. *Plain/Smooth barrel*, memiliki karakteristik permukaan rata, sehingga cocok digunakan untuk material jenis *Polyethylene* dan *Polypropylene*.
2. *Groove Barrel*, memiliki karakteristik permukaan *feeding zona* beralur sehingga cocok digunakan untuk material PVC.

b. *Screw*

Screw berfungsi untuk mentransmisikan material serta mengkompresi agar dapat keluar dari *barrel*.

c. *Die Head*

Berdasarkan masuknya material plastik, *die head* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu

1. *Axial flow*
2. *Radial flow*

Ditinjau dari kegunaannya, *die head* dibedakan menjadi tiga yaitu

1. *Die head* jenis *view strip*
2. *Multilayer die head*
3. *Die head* dengan *accumulator head*

d. *Die pin*

Die pin merupakan tempat terbentuknya parison. Adapun bentuk *die pin* adalah sebagai berikut.

1. *Cylinder*, jarang digunakan sebab sulit untuk pengaturan berat netto.
2. *Conus*, digunakan untuk botol yang memiliki mulut-mulut kecil. Ukuran parison kecil.
3. *Mushroom/jamur*, digunakan untuk botol ukuran besar. Ukuran parison yang dihasilkan besar.

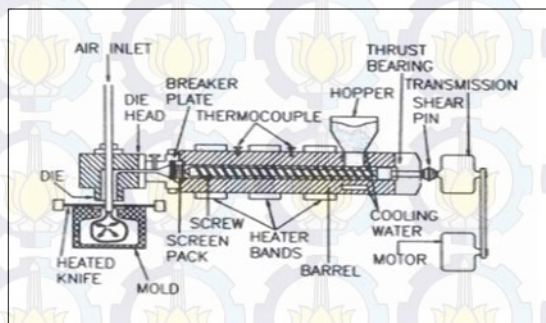
2. *Clamping Unit*

Clamping unit merupakan komponen atau unit yang berfungsi untuk menempatkan, membawa, serta menggerakkan *mold*.

3. *Calibration Unit*

Calibration unit merupakan suatu unit yang berfungsi untuk menempatkan *blowpin*. *Calibration unit* berfungsi untuk menentukan dimensi produk yang akan dibuat. Gerakan dari *calibration unit* adalah vertikal naik-turun dengan penggerak menggunakan sistem hidrolik.

Adapun bagan tahapan proses *blow molding* adalah sebagai berikut.



Gambar 2.1 Mesin *Blow Molding*

2.10 Desain Box Behnken

Box dan Behnken (1960) mengembangkan metode yang efisien pada desain tiga level untuk *fitting response surface* orde dua. Desain didasarkan pada desain blok tidak lengkap yang seimbang (*balanced incomplete block designs*). Untuk desain blok tidak lengkap yang seimbang dengan tiga perlakuan dan tiga blok adalah sebagai berikut (Myers & Montgomery, 2002).

Tabel 2.1 *Balanced Incomplete Block Designs*

	Perlakuan		
	1	2	3
Blok 1	X	X	
Blok 2	X		X
Blok 3		X	X

Pasangan bersama untuk perlakuan 1 dan 2 secara simbolik menyatakan bahwa dalam *setting response surface*, desain variabel x_1 dan x_2 dipasangkan secara bersama dalam 2^2 faktorial (dengan skala ± 1) sementara x_3 konstan atau tetap pada titik pusat sehingga x_3 adalah nol. Penerapan yang sama juga terjadi pada blok 2 dan 3, yaitu dengan menggunakan 2^2 faktorial yang direpresentasikan oleh setiap pasang perlakuan sementara faktor lain konstan di nol. Desain Box Behnken dengan tiga faktor ($k=3$) adalah sebagai berikut (Myers & Montgomery, 2002).

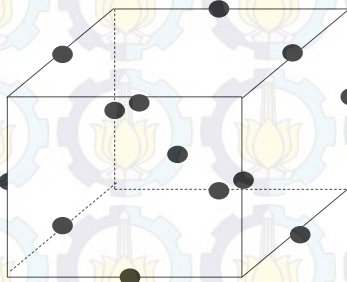
$$D = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Baris terakhir pada desain matriks Box Behnken menunjukkan vektor pengamatan pusat. Untuk $k=4,5,6,7$ memiliki prosedur yang sama dalam membangun desain matriks Box Behnken. Desain Box Behnken dapat dibandingkan dengan jumlah titik desain pada CCD. Untuk $k=3$, desain CCD terdiri dari $14 + n_c$ pengamatan sedangkan Box Behnken terdiri dari $12 + n_c$ pengamatan. Untuk $k=4$, pada desain CCD dan Box Behnken terdiri dari $24 + n_c$ titik desain pengamatan. Untuk $k=5$, pada desain Box Behnken terdiri dari $40 + n_c$ pengamatan. Sementara, pada desain CCD terdiri dari $26 + n_c$ ketika setengah fraksi yang digunakan dalam porsi faktorial dan $42 + n_c$ pengamatan ketika faktorial penuh yang digunakan. Setiap baris pada desain Box Behnken menunjukkan empat titik desain yaitu $(\pm 1, \pm 1)$ yang mewakili sebuah 2^2 faktorial (Myers & Montgomery, 2002).

Untuk $k=6$, desain didasarkan pada desain blok tidak lengkap yang seimbang sebagian. Setiap perlakuan tidak terjadi dengan setiap perlakuan lainnya pada waktu yang sama. Pada Box desain Behnken, setiap faktor tidak terjadi pada faktorial dengan dua level pada waktu yang sama dengan setiap faktor. Jumlah pengamatan untuk $k=6$ adalah $48 + n_c$ sementara pada CCD terdiri dari $44 + n_c$ pengamatan ketika satu setengah fraksi yang digunakan pada porsi faktorial. Tidak seperti $k=3,4,5$, struktur faktorial pada Box Behnken untuk $k=6$ adalah 2^3 faktorial dengan tiga faktor. Untuk $k=7$, struktur faktorial meliputi kombinasi dari tiga faktor sehingga jumlah pengamatan yang terjadi adalah $56 + n_c$ (Myers & Montgomery, 2002).

Karakteristik dari desain Box Behnken adalah Box Behnken merupakan desain yang efisien daripada CCD. Box Behnken menyediakan informasi yang cukup untuk menguji kesesuaian model yaitu menguji *lack of fit*. Selain itu, karakteristik yang penting dari desain Box Behnken adalah Box Behnken merupakan desain yang berbentuk bola. Sebagai contoh, untuk $k=3$ semua titik disebut dengan “*edge points*” (titik yang berada pada tepi kubus). Titik tepi tersebut memiliki jarak $\sqrt{2}$ dari titik

pusat. Desain Box Behnken dengan tiga faktor adalah sebagai berikut.



Gambar 2.2 Desain Box Behnken Tiga Faktor
(Myers & Montgomery, 2002).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Percobaan

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diambil dari penelitian Setyawan (2008) mengenai penentuan setting parameter temperatur *die*, *blowing time*, dan *blowing pressure*.

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Box Behnken dengan menggunakan 3 faktor dengan masing-masing 3 level adalah sebagai berikut.

Tabel 3.1 Struktur Data dan Rancangan Percobaan

No	Parameter			Respon					
	X ₁	X ₂	X ₃	Temperatur Die	Blowing Time	Blowing Pressure	Bore Diameter	Netto	Ketebalan Dinding s6
1	-1	-1	0	160	4.5	6	Y _{1,1,k}	Y _{1,2,k}	Y _{1,7,k}
2	1	-1	0	200	4.5	6	Y _{2,1,k}	Y _{2,2,k}	Y _{2,7,k}
3	-1	1	0	160	6	6	Y _{3,1,k}	Y _{3,2,k}	Y _{3,k}
4	1	1	0	200	6	6	Y _{4,1,k}	Y _{4,2,k}	Y _{4,7,k}
5	-1	0	-1	160	5.25	4	Y _{5,1,k}	Y _{5,2,k}	Y _{5,7,k}
6	1	0	-1	200	5.25	4	Y _{6,1,k}	Y _{6,2,k}	Y _{6,7,k}
7	-1	0	1	160	5.25	8	Y _{7,1,k}	Y _{7,2,k}	Y _{7,7,k}
8	1	0	1	200	5.25	8	Y _{8,1,k}	Y _{8,2,k}	Y _{8,7,k}
9	0	-1	-1	180	4.5	4	Y _{9,1,k}	Y _{9,2,k}	Y _{9,7,k}
10	0	1	-1	180	6	4	Y _{10,1,k}	Y _{10,2,k}	Y _{10,7,k}
11	0	-1	1	180	4.5	8	Y _{11,1,k}	Y _{11,2,k}	Y _{11,7,k}
12	0	1	1	180	6	8	Y _{12,1,k}	Y _{12,2,k}	Y _{12,7,k}
13	0	0	0	180	5.25	6	Y _{13,1,k}	Y _{13,2,k}	Y _{13,7,k}
14	0	0	0	180	5.25	6	Y _{14,1,k}	Y _{14,2,k}	Y _{14,7,k}
15	0	0	0	180	5.25	6	Y _{15,1,k}	Y _{15,2,k}	Y _{15,7,k}

Keterangan : *i* menunjukkan eksperimen

j menunjukkan respon

k menunjukkan replikasi untuk masing-masing respon. Jumlah replikasi tiap respon ada 8 replikasi.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tujuh variabel respon dan tiga variabel proses yang masing-masing terdiri dari tiga level. Penjelasan mengenai masing-masing variabel adalah sebagai berikut.

3.2.1 Variabel Respon

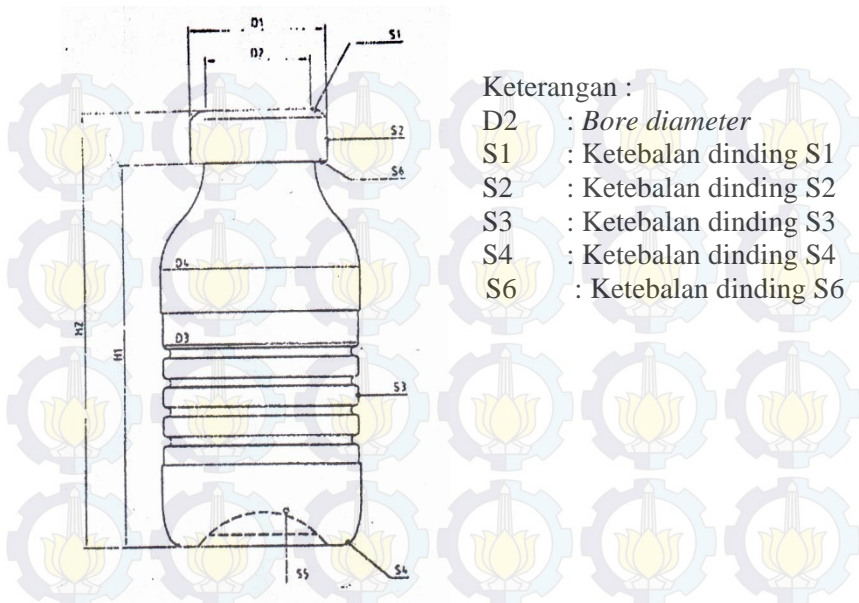
Variabel respon merupakan salah satu karakteristik pada botol yang dipilih untuk diamati. Variabel respon yang diamati meliputi *bore diameter*, *netto* botol, dan ketebalan dinding. *Bore diameter* merupakan diameter dalam pada mulut botol. *Netto* botol merupakan berat bersih ketika botol belum diisi cairan di dalamnya. Ketebalan dinding botol yang diamati meliputi beberapa sisi, yaitu sisi mulut botol (*s1*), sisi kepala botol (*s2*), sisi lekukan pada *body* botol (*s3*), sisi landasan/kaki botol (*s4*), dan sisi lekukan di bawah kepala botol (*s6*).

Adapun informasi detail mengenai spesifikasi produk, target, dan karakteristik kualitas variabel respon disajikan dalam Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Variabel Respon

No.	Variabel Respon	Spesifikasi Produk	Target	Karakteristik Kualitas
1.	<i>Bore diameter</i> (Y_1)	$29,19 \pm 0,3$ mm	29,19	NTB
2.	<i>Netto</i> botol (Y_2)	$14,8 \pm 0,8$ gram	14,8	NTB
3.	Ketebalan dinding botol <i>s1</i> (Y_3)	0,8-1,0 mm	0,9	NTB
4.	Ketebalan dinding botol <i>s2</i> (Y_4)	0,7-0,9 mm	0,8	NTB
5.	Ketebalan dinding botol <i>s3</i> (Y_5)	0,3-0,5 mm	0,4	NTB
6.	Ketebalan dinding botol <i>s4</i> (Y_6)	0,4-0,9 mm	0,65	NTB
7.	Ketebalan dinding botol <i>s6</i> (Y_7)	0,7-0,9 mm	0,8	NTB

Adapun ilustrasi botol 200 ml yang akan dilakukan optimasi karakteristik kualitas disajikan dalam Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Botol 200 ml

3.2.2 Variabel Proses

Variabel proses merupakan variabel yang besarnya dapat ditentukan dan dikendalikan berdasarkan pertimbangan tertentu dan tujuan dari penelitian tersebut. Variabel proses yang diamati meliputi temperatur *die*, *blowing time*, dan *blowing pressure*.

1. Temperatur *Die*

Temperatur *die* berfungsi untuk mengatur suhu pada *parison* agar produk yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi. Suhu harus diatur agar material yang akan dilelehkan tidak terlalu lembek atau tidak terlalu padat. Semakin panas temperatur *parison* yang keluar maka *parison* akan lembek, lengket, dan *parison* yang keluar kebanyakan lebih panjang. Sementara, semakin dingin temperatur *parison* yang keluar maka *parison* akan sulit mengembang. Menurut Setyawan (2008), *setting* pabrik untuk temperatur *die* adalah 178 °C. Untuk memperoleh karakteristik kualitas optimum maka pemilihan level dilakukan

dengan cara menaikkan dan menurunkan temperatur *die*. Atas dasar tersebut sehingga dipilih tiga level temperatur yang dipakai dalam percobaan serta masih dalam interval temperatur yang diizinkan, yaitu level bawah adalah 160 °C, level tengah 180 °C, dan level atas adalah 200 °C agar menghasilkan botol yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan perusahaan.

2. *Blowing Time*

Blowing time adalah waktu yang digunakan untuk meniup parison pada *mold* (cetakan). *Blowing time* akan berpengaruh terhadap dimensi botol yang dihasilkan karena besar kecilnya waktu yang digunakan dapat mempengaruhi proses pendinginan. Jika *blowing time* terlalu lama maka akan menyebabkan dimensi botol relatif menjadi lebih besar. Jika *blowing time* terlalu pendek maka akan menyebabkan temperatur botol tinggi dan penyusutan lebih besar. Menurut Setyawan (2008), *setting* pabrik untuk *blowing time* adalah 4,8 detik. Untuk memperoleh karakteristik kualitas optimum maka pemilihan level dilakukan dengan cara menaikkan dan menurunkan *blowing time*. Sehingga agar peniupan parison dapat berlangsung sempurna maka dipilih tiga level *blowing time*, yaitu level bawah adalah 4,5 detik, level tengah adalah 5,25 detik, dan level atas adalah 6 detik. Hal ini disebabkan karena dengan adanya pemilihan level tersebut diharapkan dapat menghasilkan botol dengan dimensi yang tepat dan sesuai dengan spesifikasi perusahaan.

3. *Blowing Pressure*

Blowing pressure adalah tekanan yang dibutuhkan untuk meniup parison pada cetakan. Jika *blowing pressure* terlalu rendah maka produk yang terbentuk tidak sempurna dan dimensi yang dihasilkan tidak sesuai dengan spesifikasi. Jika *blowing pressure* terlalu besar akan menyebabkan *parting line* dari produk melebar dan akhirnya pecah. Menurut Setyawan (2008), *setting* pabrik untuk *blowing pressure* adalah 8 bar. Untuk memperoleh karakteristik kualitas optimum maka pemilihan level dilakukan dengan cara menurunkan *blowing pressure*. Sehingga dipilih tiga level *blowing pressure*, yaitu level bawah adalah 4 bar, level

tengah 6 bar, dan level atas 8 bar dalam interval *blowing pressure* yang diizinkan perusahaan agar menghasilkan botol dengan karakteristik kualitas yang sesuai dengan spesifikasi perusahaan.

3.2.3 Hubungan antara Variabel Proses dengan Variabel Respon

Berdasarkan analisis Setyawan (2008), temperatur *die*, *blowing time*, dan *blowing pressure* memiliki hubungan positif dengan *bore diameter*. Semakin tinggi temperatur, waktu peniupan yang lama, serta tekanan peniupan yang tinggi mengakibatkan *bore diameter* semakin besar. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur *die* mengakibatkan parison semakin lembek sehingga akan membesar. Kemudian, semakin lama waktu peniupan akan mengakibatkan dimensi botol pada *bore diameter* semakin besar pula. Serta semakin tinggi tekanan peniupan mengakibatkan *bore diameter* bagian *parting line* melebar. Sementara, temperatur *die*, *blowing time*, dan *blowing pressure* memiliki hubungan negatif dengan *netto* botol, artinya semakin tinggi temperatur, waktu peniupan yang lama, serta tekanan peniupan yang tinggi mengakibatkan *netto* botol semakin kecil. Di sisi lain temperatur *die*, *blowing time*, dan *blowing pressure* memiliki hubungan negatif dengan ketebalan dinding s1,s2,s3,s4,s6. Semakin tinggi temperatur *die*, semakin lama waktu peniupan (*blowing time*), dan semakin tinggi tekanan peniupan (*blowing pressure*) mengakibatkan ketebalan dinding semakin kecil.

3.3 Langkah Analisis

Langkah analisis yang akan dilakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menguji interdependensi atau korelasi antar variabel respon secara serentak dengan menggunakan uji *Bartlett Sphericity*.
2. Menghitung rata-rata dan standar deviasi sampel respon ke-*j* pada setiap eksperimen ke-*i*.
3. Menghitung nilai rata-rata dan standar deviasi sampel yang dinormalisasi dari respon ke-*j* pada setiap eksperimen ke-*i*.

Tujuan dilakukan normalisasi pada respon adalah agar tidak terjadi perbedaan skala pada respon.

4. Menghitung analisis komponen utama (PCA) dari nilai rata-rata dan standar deviasi sampel yang dinormalisasi dari respon dan mendapatkan sekumpulan komponen yang tidak berkorelasi yang merupakan kombinasi linier dari normalisasi rata-rata (NM) dan normalisasi standar deviasi (NSD) respon. Memilih jumlah komponen utama berdasarkan variasi kumulatif respon dan *eigenvalue* yang lebih dari 1.
5. Membentuk model *response surface* dari normalisasi rata-rata respon (NM), normalisasi standar deviasi respon (NSD), dan lima komponen utama (PC) terpilih serta melakukan pengujian Lack of Fit pada model *response surface*.
6. Melakukan pengujian asumsi residual pada model *response surface* normalisasi rata-rata respon (NM), normalisasi standar deviasi respon (NSD), dan lima komponen utama (PC). Pengujian asumsi identik dilakukan dengan menggunakan uji Gletser. Pengujian asumsi independen dilakukan dengan membuat plot *autocorrelation function* (ACF). Pengujian asumsi distribusi Normal residual dengan menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov*.
7. Menghitung nilai target dari normalisasi standar deviasi respon dengan cara meminimumkan model *response surface* untuk normalisasi standar deviasi respon dan batasan yang digunakan antara -1 sampai 1. Batas atas dari normalisasi standar deviasi respon diperoleh dengan cara memaksimumkan model *response surface*.
8. Menghitung nilai target, batas bawah, dan batas atas untuk daerah yang diharapkan dari normalisasi rata-rata respon (NM). Penentuan nilai target, batas bawah, dan batas atas dari normalisasi rata-rata ini memerhatikan spesifikasi botol 200 ml untuk *bore diameter*, *netto*, dan ketebalan dinding s_1, s_2, s_3, s_4, s_6 .
9. Menghitung nilai target, batas bawah, dan batas atas untuk daerah yang diharapkan dari komponen utama (PC).

Kemudian membentuk *desirability function*. Nilai target diperoleh dengan cara mengalikan *eigenvector* masing-masing komponen dengan nilai target dari normalisasi rata-rata dan standar deviasi respon. Batas bawah komponen utama dihitung dari meminimumkan perkalian antara *eigenvector* masing-masing komponen utama dengan variabel normalisasi rata-rata dan normalisasi standar deviasi respon dengan batasan yang digunakan adalah batas atas dan batas bawah dari nilai normalisasi rata-rata dan standar deviasi respon. Sementara, batas atas komponen utama dihitung dari memaksimumkan perkalian antara *eigenvector* masing-masing komponen utama dengan variabel normalisasi rata-rata dan normalisasi standar deviasi respon dengan batasan yang digunakan adalah batas atas dan batas bawah dari nilai normalisasi rata-rata dan standar deviasi respon.

10. Mendapatkan solusi optimal (x^*) dengan menyelesaikan optimasi model dengan menggunakan persamaan (2.18).
11. Nilai *setting* parameter yang telah diperoleh digunakan untuk mencari nilai prediksi respon apakah memenuhi batas spesifikasi atau tidak dengan cara memasukkan nilai *setting* parameter ke dalam model *response surface* untuk *bore diameter*, *netto*, dan ketebalan dinding s_1 , s_2 , s_3 , s_4 , s_6 . Serta mencari nilai *desirability* masing-masing respon. Kemudian menghitung *desirability* global dimana nilai *desirability* yang mendekati 1 adalah yang diharapkan.
12. Menarik kesimpulan dan saran.



BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bagian analisis dan pembahasan akan dilakukan penentuan *setting* parameter temperatur *die*, *blowing time*, dan *blowing pressure* untuk memperoleh karakteristik kualitas optimal. Data percobaan yang digunakan terdapat pada Lampiran 1 sampai 7.

4.1 Uji *Bartlett Sphericity*

Analisis *Principal Component Analysis* dan *Desirability Function* diawali dengan menghitung korelasi antar respon secara serentak untuk menunjukkan bahwa antar respon saling berhubungan sehingga dapat dilakukan analisis lebih lanjut. Hasil uji *Bartlett* pada data Lampiran 1 sampai 7 dengan menggunakan Persamaan (2.1) diperoleh hasil yang tercantum pada Lampiran 59 yaitu χ^2 sebesar 65, 286 dan *P-value* sebesar 0,000 sehingga dapat disimpulkan bahwa *bore diameter*, *netto*, dan ketebalan dinding *s1*, *s2*, *s3*, *s4*, *s6* saling berkorelasi secara serentak, Uji *Bartlett* menunjukkan bahwa antar respon saling berkorelasi maka dapat dilakukan analisis komponen utama (PCA).

4.2 Nilai Rata-rata dan Standar Deviasi Respon

Tahap awal dalam prosedur *Principal Component Analysis* dan *Desirability Function* adalah menghitung rata-rata dan standar deviasi respon ke- *j* pada tiap eksperimen ke- *i* . Dengan mengacu pada data Lampiran 1 maka contoh perhitungan nilai rata-rata dan standar deviasi untuk respon *bore diameter* pada eksperimen ke-1 menggunakan persamaan (2.10) dan (2.11) adalah sebagai berikut.

$$\bar{y}_{ij} = \sum_{k=1}^m y_{ijk} = 29,01 + 28,8 + 29,14 + \dots + 28,94 = 29,02$$

$$\begin{aligned}
 S_{ij} &= \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (y_{ijk} - \bar{y}_{ij})^2} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{8-1} [(29,01 - 29,02)^2 + (28,8 - 29,02)^2 + \dots + (28,94 - 29,02)^2]} \\
 &= 0,1510
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan nilai rata-rata dan standar deviasi respon *bore diameter* tercantum pada Lampiran 8. Dengan cara yang sama, nilai rata-rata dan standar deviasi respon *netto* dan ketebalan dinding s1,s2,s3,s4,s6 dapat diperoleh. Hasil perhitungan nilai rata-rata dan standar deviasi *bore diameter*, *netto* dan ketebalan dinding s1,s2,s3,s4,s6 dapat dilihat pada Lampiran 8 sampai 14.

4.3 Normalisasi Nilai Rata-rata dan Standar Deviasi Respon

Normalisasi nilai rata-rata dan standar deviasi respon dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan (2.12) dan (2.13). Dengan menggunakan data pada Lampiran 1, contoh perhitungan normalisasi nilai rata-rata dan standar deviasi untuk respon *bore diameter* pada eksperimen ke-1 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 y'_{ij} &= \frac{\bar{y}_{ij} - \bar{y}_{j\mu}}{S_{j\mu}} = \frac{29,02 - 29,183}{0,1977} = -0,8227 \\
 S'_{ij} &= \frac{S_{ij} - \bar{y}_{j\sigma}}{S_{j\sigma}} = \frac{0,1510 - 0,1105}{0,0318} = 1,2713
 \end{aligned}$$

Hasil normalisasi nilai rata-rata dan standar deviasi respon *bore diameter* terdapat pada Lampiran 8. Dengan cara yang sama, nilai normalisasi rata-rata dan standar deviasi respon *netto* dan ketebalan dinding s1,s2,s3,s4,s6 pada data Lampiran 2 sampai 7 dapat diperoleh. Hasil perhitungan nilai normalisasi rata-rata dan standar deviasi respon *bore diameter*, *netto* dan ketebalan dinding s1,s2,s3,s4,s6 dapat dilihat pada Lampiran 8 sampai 14. Nilai normalisasi rata-rata dan standar deviasi respon *bore diameter*, *netto* dan ketebalan dinding s1,s2,s3,s4,s6 yang telah diperoleh akan diolah dengan menggunakan analisis komponen utama (PCA).

4.4 Analisis *Principal Component Analysis* (PCA)

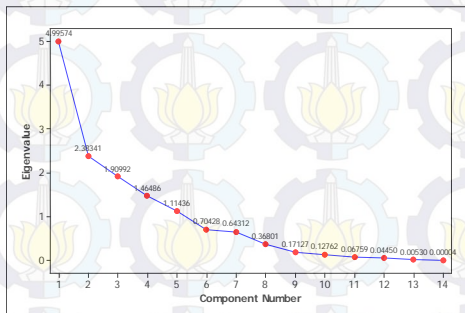
Untuk memperoleh jumlah komponen utama yang digunakan untuk optimasi, diperlukan *Principal Component Analysis* (PCA). Analisis komponen utama dilakukan dengan menggunakan nilai normalisasi rata-rata dan standar deviasi respon *bore diameter*, *netto* dan ketebalan dinding s_1, s_2, s_3, s_4, s_6 yang terdapat pada Lampiran 8 sampai 14. Berdasarkan Lampiran 15, hasil *eigenvalue* dari *Principal Component Analysis* (PCA) disajikan pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1 *Eigenvalue*

Komponen	<i>Eigenvalue</i>	Proporsi	Persentase Kumulatif
PC_1	4,9957	0,357	0,357
PC_2	2,3834	0,170	0,527
PC_3	1,9099	0,136	0,664
PC_4	1,4649	0,105	0,768
PC_5	1,1144	0,080	0,848
PC_6	0,7043	0,050	0,898
PC_7	0,6431	0,046	0,944
PC_8	0,3680	0,026	0,970
PC_9	0,1713	0,012	0,982
PC_{10}	0,1276	0,009	0,992
PC_{11}	0,0676	0,005	0,996
PC_{12}	0,0445	0,003	1,000
PC_{13}	0,0053	0,000	1,000
PC_{14}	0,0000	0,000	1,000

Tabel 4.1 menunjukkan *eigenvalue*, proporsi, dan persentase kumulatif dari 14 komponen utama. Pemilihan jumlah komponen utama yang digunakan untuk optimasi dapat didasarkan pada *eigenvalue* yang lebih dari 1, proporsi, maupun persentase kumulatif. Penentuan jumlah komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada persentase kumulatif dan

eigenvalue. Dengan mengacu pada *eigenvalue* lebih dari 1 Tabel 4.1 maka jumlah komponen utama yang dipilih adalah sebanyak 5 komponen utama dengan persentase kumulatif sebesar 0,848. Artinya, dengan menggunakan 5 komponen utama, variabilitas *bore diameter*, *netto*, dan ketebalan dinding s_1, s_2, s_3, s_4, s_6 mampu dijelaskan oleh temperatur *die*, *blowing time*, dan *blowing pressure* sebesar 84,8%. Penentuan jumlah komponen utama yang terpilih dapat pula didasarkan pada *scree plot* yang disajikan pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Scree Plot

Scree plot diperoleh dari analisis komponen utama (PCA) yang terdapat pada Lampiran 15. Berdasarkan Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa nilai *eigenvalue* turun drastis sampai pada komponen utama kelima yang ditandai dengan garis yang turuncam. Komponen utama enam sampai empat belas tidak ada indikasi kecuraman garis *eigenvalue*. Sehingga jumlah komponen utama terpilih berdasarkan *scree plot* adalah lima komponen utama. Jumlah tersebut sama dengan penentuan jumlah komponen utama terpilih dengan menggunakan *eigenvalue* dan persentase kumulatif.

Berdasarkan Lampiran 15 mengenai proses perhitungan *Principal Component Analysis*, nilai *eigenvector* dari normalisasi rata-rata respon hasil analisis dengan *Principal Component Analysis* disajikan pada Tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.2 *Eigenvector* dari Normalisasi Rata-rata Respon

Variabel	PC_1	PC_2	PC_3	PC_4	PC_5	PC_6	PC_7
$y'_{1\mu}$	-0,103	0,480	-0,131	0,315	-0,299	-0,001	-0,332
$y'_{2\mu}$	0,383	-0,172	-0,072	0,099	0,037	-0,078	-0,238
$y'_{3\mu}$	0,403	0,168	0,123	-0,105	0,092	-0,089	0,209
$y'_{4\mu}$	0,097	-0,503	0,336	-0,152	0,038	0,101	-0,128
$y'_{5\mu}$	0,341	0,035	0,015	-0,340	0,267	0,219	-0,304
$y'_{6\mu}$	0,354	0,224	-0,077	0,005	-0,191	-0,039	-0,528
$y'_{7\mu}$	0,391	0,114	0,128	-0,217	-0,055	0,003	0,074

Tabel 4.2 *Eigenvector* dari Normalisasi Rata-rata Respon (Lanjutan)

Variabel	PC_8	PC_9	PC_{10}	PC_{11}	PC_{12}	PC_{13}	PC_{14}
$y'_{1\mu}$	0,213	-0,375	-0,070	-0,041	-0,451	0,152	0,157
$y'_{2\mu}$	0,470	0,339	-0,265	-0,517	-0,115	-0,134	-0,199
$y'_{3\mu}$	0,272	0,097	-0,087	0,087	0,187	0,461	0,614
$y'_{4\mu}$	0,356	-0,338	0,150	0,310	-0,276	0,292	-0,229
$y'_{5\mu}$	-0,303	-0,233	0,385	-0,340	-0,184	-0,189	0,273
$y'_{6\mu}$	-0,068	0,046	0,178	0,289	0,509	0,133	-0,323
$y'_{7\mu}$	-0,266	-0,198	-0,681	0,279	-0,180	-0,260	-0,105

Sementara, nilai *eigenvector* dari normalisasi standar deviasi respon dengan *Principal Component Analysis* yang tercantum pada Lampiran 15, disajikan pada Tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.3 *Eigenvector* dari Normalisasi Standar Deviasi Respon

Variabel	PC_1	PC_2	PC_3	PC_4	PC_5	PC_6	PC_7
$y'_{1\sigma}$	0,122	-0,484	-0,229	0,264	-0,253	-0,129	0,018
$y'_{2\sigma}$	-0,134	0,126	0,325	-0,421	-0,551	0,267	0,066
$y'_{3\sigma}$	-0,314	-0,185	-0,200	-0,257	-0,084	0,431	-0,312
$y'_{4\sigma}$	0,004	-0,241	0,510	0,351	-0,269	-0,067	-0,305
$y'_{5\sigma}$	0,125	0,099	0,172	0,498	0,252	0,748	0,123
$y'_{6\sigma}$	0,157	-0,204	-0,579	-0,055	-0,162	0,261	0,013
$y'_{7\sigma}$	0,323	-0,003	-0,063	0,081	-0,502	0,143	0,431

Tabel 4.3 *Eigenvector* dari Normalisasi Standar Deviasi Respon
(Lanjutan)

Variabel	PC_8	PC_9	PC_{10}	PC_{11}	PC_{12}	PC_{13}	PC_{14}
$y'_{1\sigma}$	-0,317	-0,422	-0,178	-0,312	0,246	0,256	0,115
$y'_{2\sigma}$	-0,119	0,165	-0,058	-0,371	-0,005	0,316	-0,150
$y'_{3\sigma}$	0,300	-0,079	-0,286	0,108	0,318	-0,245	0,346
$y'_{4\sigma}$	-0,223	0,343	0,035	0,149	-0,108	-0,212	0,376
$y'_{5\sigma}$	-0,069	-0,007	-0,088	-0,049	0,105	0,125	-0,129
$y'_{6\sigma}$	-0,191	0,415	0,057	0,275	-0,398	0,229	0,054
$y'_{7\sigma}$	0,264	-0,156	0,350	0,057	0,068	-0,449	0,030

Hasil nilai *eigenvector* dari normalisasi rata-rata dan standar deviasi berdasarkan analisis komponen utama yang disajikan pada Lampiran 15 akan digunakan untuk menentukan nilai target, nilai batas atas dan batas bawah dari normalisasi komponen utama (PC) pada tahap optimasi.

4.5 Analisis *Response Surface* dan Pengujian *Lack of Fit*

Setelah melakukan analisis komponen utama, tahap selanjutnya adalah pembentukan model *response surface* dari normalisasi rata-rata respon, normalisasi standar deviasi respon, dan lima komponen utama. Dengan menggunakan data normalisasi rata-rata respon, normalisasi standar deviasi respon, dan lima komponen utama yang terdapat pada Lampiran 8 sampai 15 maka diperoleh hasil model *response surface* yang disajikan dalam Lampiran 16 sampai 34. Model *response surface* untuk normalisasi rata-rata respon, normalisasi standar deviasi respon, dan lima komponen utama adalah sebagai berikut.

- a. Model *response surface* untuk normalisasi rata-rata *bore diameter*

$$\begin{aligned} \hat{y}'_{1\mu}(x) = & -0,8059 + 0,4995x_1 + 0,3604x_2 + 0,6069x_3 + \\ & 0,6680x_1^2 + 0,8451x_2^2 - 0,0021x_3^2 - 0,5184x_1x_2 + 0,3540x_1x_3 \\ & - 0,6322x_2x_3 \end{aligned}$$

- b. Model *response surface* untuk normalisasi rata-rata *netto*

$$\hat{y}'_{2\mu}(x) = -0,4518 - 0,6625x_1 - 0,7060x_2 - 0,4127x_3 +$$

$$0,6517x_1^2 - 0,2172x_2^2 + 0,4127x_3^2 - 0,1738x_1x_2 - 0,0217x_1x_3 - 0,7168x_2x_3$$

- c. Model *response surface* untuk normalisasi rata-rata ketebalan dinding s1

$$\hat{y}'_{3\mu}(x) = -0,4566 - 0,4803x_1 - 0,3968x_2 - 0,4594x_3 +$$

$$0,8841x_1^2 - 0,2854x_2^2 + 0,2576x_3^2 - 1,1277x_1x_2 - 0,2506x_1x_3$$

- d. Model *response surface* untuk normalisasi rata-rata ketebalan dinding s2

$$\hat{y}'_{4\mu}(x) = 0,9162 - 0,5237x_1 - 0,6913x_2 - 0,3352x_3 -$$

$$0,8939x_1^2 - 0,3073x_2^2 - 0,5168x_3^2 + 0,4190x_1x_2 - 0,7123x_1x_3 - 0,0419x_2x_3$$

- e. Model *response surface* untuk normalisasi rata-rata ketebalan dinding s3

$$\hat{y}'_{5\mu}(x) = -0,5680 - 0,4855x_1 - 0,5795x_2 - 0,6265x_3 +$$

$$0,8458x_1^2 + 0,2819x_2^2 - 0,0627x_3^2 - 0,3759x_1x_2 + 0,0313x_1x_3 + 0,7205x_2x_3$$

- f. Model *response surface* untuk normalisasi rata-rata ketebalan dinding s4

$$\hat{y}'_{6\mu}(x) = -1,2431 - 0,3067x_1 - 0,3067x_2 - 0,3505x_3 +$$

$$1,3553x_1^2 + 0,7945x_2^2 + 0,1811x_3^2 - 0,6309x_1x_2 - 0,1928x_1x_3 - 0,4381x_2x_3$$

- g. Model *response surface* untuk normalisasi rata-rata ketebalan dinding s6

$$\hat{y}'_{7\mu}(x) = -0,6827 - 0,2919x_1 - 0,3818x_2 - 0,7186x_3 +$$

$$0,6213x_1^2 + 0,1722x_2^2 + 0,4866x_3^2 - 1,0330x_1x_2 - 0,5390x_1x_3 + 0,1797x_2x_3$$

- h. Model *response surface* untuk normalisasi standar deviasi *bore diameter*

$$\hat{y}'_{1\sigma}(x) = -0,2828 - 0,3241x_1 - 0,3306x_2 - 0,1504x_3 -$$

$$0,1100x_1^2 - 0,1292x_2^2 + 0,7695x_3^2 + 0,9768x_1x_2 - 0,5208x_1x_3 - 0,6940x_2x_3$$

- i. Model *response surface* untuk normalisasi standar deviasi netto

$$\hat{y}'_{2\sigma}(x) = 0,1691 + 0,2827x_1 + 0,5067x_2 - 0,4595x_3 -$$

$$0,4183x_1^2 + 0,6818x_2^2 - 0,5805x_3^2 - 0,0233x_1x_2 - 0,4756x_1x_3 + 0,2583x_2x_3$$

- j. Model *response surface* untuk normalisasi standar deviasi ketebalan dinding s1

$$\hat{y}'_{3\sigma}(x) = 0,3123 + 0,6115x_1 + 0,0005x_2 + 0,0675x_3 -$$

$$0,5714x_1^2 + 0,2120x_2^2 - 0,2260x_3^2 + 1,2482x_1x_2 + 0,2924x_1x_3 + 0,1613x_2x_3$$

- k. Model *response surface* untuk normalisasi standar deviasi ketebalan dinding s2

$$\hat{y}'_{4\sigma}(x) = 0,7619 - 0,5321x_1 + 0,1678x_2 + 0,0148x_3 -$$

$$0,8749x_1^2 + 0,1811x_2^2 - 0,7347x_3^2 - 0,0861x_1x_2 - 0,8769x_1x_3 - 0,7957x_2x_3$$

- l. Model *response surface* untuk normalisasi standar deviasi ketebalan dinding s3

$$\hat{y}'_{5\sigma}(x) = 0,3146 - 0,3836x_1 + 0,2611x_2 + 0,2877x_3 +$$

$$0,4047x_1^2 - 0,7674x_2^2 - 0,2272x_3^2 - 0,4688x_1x_2 - 0,3468x_1x_3 - 0,0804x_2x_3$$

- m. Model *response surface* untuk normalisasi standar deviasi ketebalan dinding s4

$$\hat{y}'_{6\sigma}(x) = -1,1137 + 0,0174x_1 - 0,1592x_2 - 0,3724x_3 +$$

$$0,9552x_1^2 + 0,0380x_2^2 + 1,0950x_3^2 + 1,0426x_1x_2 - 0,0540x_1x_3 - 0,0500x_2x_3$$

- n. Model *response surface* untuk normalisasi standar deviasi ketebalan dinding s6

$$\hat{y}'_{7\sigma}(x) = -0,7422 - 0,3323x_1 - 0,0248x_2 - 0,4557x_3 + \\ 0,9441x_1^2 - 0,1279x_2^2 + 0,5755x_3^2 - 0,1804x_1x_2 - 0,7243x_1x_3 \\ - 0,6168x_2x_3$$

- o. Model *response surface* untuk komponen utama pertama (PC_1)

$$\hat{P}\hat{C}_1(x) = -1,6132 - 1,3624x_1 - 1,0987x_2 - 1,2045x_3 + \\ 2,1856x_1^2 - 0,1750x_2^2 + 1,0141x_3^2 - 1,4056x_1x_2 - 0,8638x_1x_3 \\ - 0,4429x_2x_3$$

- p. Model *response surface* untuk komponen utama kedua (PC_2)

$$\hat{P}\hat{C}_2(x) = -1,0464 + 0,5845x_1 + 0,6845x_2 + 0,3758x_3 + \\ 1,3716x_1^2 + 0,7390x_2^2 - 0,1485x_3^2 - 1,8362x_1x_2 + 0,7153x_1x_3 \\ + 0,3233x_2x_3$$

- q. Model *response surface* untuk komponen utama ketiga (PC_3)

$$\hat{P}\hat{C}_3(x) = 1,5805 - 0,5572x_1 + 0,1525x_2 - 0,1206x_3 - \\ 1,3227x_1^2 - 0,1134x_2^2 - 1,5274x_3^2 - 1,2059x_1x_2 - 0,8925x_1x_3 \\ + 0,0469x_2x_3$$

- r. Model *response surface* untuk komponen utama keempat (PC_4)

$$\hat{P}\hat{C}_4(x) = 0,1443 - 0,3185x_1 + 0,3641x_2 + 0,8855x_3 + \\ 0,1151x_1^2 - 0,5148x_2^2 + 0,1293x_3^2 - 0,1663x_1x_2 - 0,1994x_1x_3 \\ - 1,2496x_2x_3$$

- s. Model *response surface* untuk komponen utama kelima (PC_5)

$$\hat{P}\hat{C}_5(x) = 0,7199 - 0,2072x_1 - 0,4084x_2 + 0,3305x_3 - \\ 0,1811x_1^2 - 0,9286x_2^2 - 0,2401x_3^2 - 0,3747x_1x_2 + 0,8081x_1x_3 \\ + 0,9591x_2x_3$$

Setelah diperoleh model *response surface* untuk normalisasi rata-rata respon, normalisasi standar deviasi, dan lima komponen utama, selanjutnya dilakukan pengujian kesesuaian model *response surface*. Pengujian kesesuaian model dilakukan dengan uji *lack of fit* menggunakan Persamaan (2.22). Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

H_0 : tidak ada *lack of fit* (model sesuai)

H_1 : ada *lack of fit* (model tidak sesuai)

Contoh perhitungan *lack of fit* pada model *response surface* normalisasi rata-rata *bore diameter* adalah sebagai berikut.

$$F_o = \frac{MS_{LOF}}{MS_{PE}} = \frac{0,11618}{0,23108} = 0,50$$

Hasil pengujian *lack of fit* model *response surface* normalisasi rata-rata respon, normalisasi standar deviasi respon, dan lima komponen utama berdasarkan Lampiran 16 sampai 34 adalah sebagai berikut.

Tabel 4.4 Pengujian *Lack of Fit*

Model Response Surface	F_o	P-value
$\hat{y}_{1\mu}(x)$	0,50	0,718
$\hat{y}_{2\mu}(x)$	0,94	0,552
$\hat{y}_{3\mu}(x)$	1,11	0,507
$\hat{y}_{4\mu}(x)$	1,82	0,374
$\hat{y}_{5\mu}(x)$	0,17	0,908
$\hat{y}_{6\mu}(x)$	1,20	0,485
$\hat{y}_{7\mu}(x)$	0,02	0,995
$\hat{y}_{1\sigma}(x)$	4,98	0,172
$\hat{y}_{2\sigma}(x)$	1,06	0,518
$\hat{y}_{3\sigma}(x)$	7,10	0,126
$\hat{y}_{4\sigma}(x)$	1,24	0,476
$\hat{y}_{5\sigma}(x)$	0,03	0,993
$\hat{y}_{6\sigma}(x)$	0,18	0,899

Tabel 4.4 Pengujian *Lack of Fit* (Lanjutan)

Model <i>Response Surface</i>	F_o	P-value
$\hat{y}_{7\sigma}(x)$	9,10	0,101
$\widehat{PC}_1(x)$	0,46	0,740
$\widehat{PC}_2(x)$	1,65	0,399
$\widehat{PC}_3(x)$	0,52	0,710
$\widehat{PC}_4(x)$	0,47	0,736
$\widehat{PC}_5(x)$	0,79	0,602

Berdasarkan pengujian *lack of fit* pada normalisasi rata-rata respon, normalisasi standar deviasi respon, dan lima komponen utama dapat diketahui bahwa P-value lebih dari taraf signifikansi ($\alpha=0,05$) sehingga dapat disimpulkan bahwa model *response surface* normalisasi rata-rata respon, normalisasi standar deviasi respon, dan lima komponen utama sesuai yaitu model yang digunakan adalah *full quadratic*.

4.6 Pengujian Asumsi Residual Model *Response Surface*

Pengujian asumsi residual model *response surface* normalisasi rata-rata respon, normalisasi standar deviasi respon, dan lima komponen utama meliputi pengujian asumsi identik, independen, dan Distribusi Normal.

4.6.1 Pengujian Asumsi Identik

Pengujian asumsi identik dilakukan dengan menggunakan uji Gletser yaitu dengan meregresikan absolut residual dari normalisasi rata-rata respon, normalisasi standar deviasi respon, dan lima komponen utama dengan variabel prediktor. Residual model *response surface* normalisasi rata-rata respon, normalisasi standar deviasi respon, dan lima komponen utama berdasarkan analisis *response surface* yang tercantum pada Lampiran 16 sampai 34 diperoleh hasil uji asumsi identik residual seperti terlihat pada Lampiran 38 sampai 56 adalah sebagai berikut.

Tabel 4.5 Hasil Uji Gletser

Absolut Residual dari	P-value <i>Temperature</i>	P-value <i>Blowing Time</i>	P-value <i>Blowing Pressure</i>
$y'_{1\mu}$	1,000	1,000	1,000
$y'_{2\mu}$	1,000	1,000	1,000
$y'_{3\mu}$	1,000	1,000	1,000
$y'_{4\mu}$	1,000	1,000	1,000
$y'_{5\mu}$	1,000	1,000	1,000
$y'_{6\mu}$	1,000	1,000	1,000
$y'_{7\mu}$	1,000	1,000	1,000
$y'_{1\sigma}$	1,000	1,000	1,000
$y'_{2\sigma}$	1,000	1,000	1,000
$y'_{3\sigma}$	1,000	1,000	1,000
$y'_{4\sigma}$	1,000	1,000	1,000
$y'_{5\sigma}$	1,000	1,000	1,000
$y'_{6\sigma}$	1,000	1,000	1,000
$y'_{7\sigma}$	1,000	1,000	1,000
PC_1	1,000	1,000	1,000
PC_2	1,000	1,000	1,000
PC_3	1,000	1,000	1,000
PC_4	1,000	1,000	1,000
PC_5	1,000	1,000	1,000

Berdasarkan hasil uji identik pada Lampiran 38 sampai 56 yang ditunjukkan dalam Tabel 4.5 diketahui bahwa P-value temperature *die*, *blowing time*, *blowing pressure* untuk absolut residual normalisasi rata-rata, normalisasi standar deviasi respon, dan lima komponen utama lebih dari taraf signifikansi ($\alpha=0,05$) sehingga dapat disimpulkan bahwa residual identik, artinya tidak ada kasus heteroskedastisitas.

4.6.2 Pengujian Asumsi Independen

Pengujian asumsi independen residual normalisasi rata-rata respon, normalisasi standar deviasi respon, dan lima komponen utama dapat dilakukan dengan membuat plot *autocorrelation*. Plot *autocorrelation* dibentuk dari residual model *response surface* untuk normalisasi rata-rata respon, normalisasi standar deviasi respon, dan lima komponen utama berdasarkan Lampiran 16 sampai 34 sehingga diperoleh hasil uji independen residual yang tercantum dalam Lampiran 38 sampai 56. Dari plot *autocorrelation* dapat diketahui bahwa tidak ada lag yang keluar batas signifikansi sehingga dapat disimpulkan bahwa asumsi independen residual normalisasi rata-rata respon, normalisasi standar deviasi respon, dan lima komponen utama terpenuhi.

4.6.3 Pengujian Distribusi Normal

Pengujian asumsi distribusi Normal residual normalisasi rata-rata respon, normalisasi standar deviasi respon, dan lima komponen utama dilakukan dengan menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov* pada Persamaan (2.24). Berdasarkan residual model *response surface* normalisasi rata-rata respon, normalisasi standar deviasi respon, dan lima komponen utama maka hasil pengujian normalitas residual dengan menggunakan *Kolmogorov Smirnov* terdapat pada Lampiran 35 sampai 37 sehingga hasil pengujian asumsi Distribusi Normal dapat disajikan dalam Tabel 4.6 sebagai berikut.

Tabel 4.6 Hasil Uji *Kolmogorov Smirnov*

Residual dari	P-value
$y'_{1\mu}$	1,000
$y'_{2\mu}$	1,000
$y'_{3\mu}$	0,996
$y'_{4\mu}$	0,737
$y'_{5\mu}$	0,924
$y'_{6\mu}$	0,999
$y'_{7\mu}$	0,111
$y'_{1\sigma}$	0,994
$y'_{2\sigma}$	0,892

Tabel 4.6 Hasil Uji *Kolmogorov Smirnov* (Lanjutan)

Residual dari	P-value
$y'_{3\sigma}$	0,990
$y'_{4\sigma}$	0,555
$y'_{5\sigma}$	0,127
$y'_{6\sigma}$	0,757
$y'_{7\sigma}$	0,677
PC_1	0,996
PC_2	0,999
PC_3	0,888
PC_4	0,841
PC_5	0,895

Berdasarkan pengujian asumsi distribusi Normal, residual normalisasi rata-rata respon, normalisasi standar deviasi respon, dan lima komponen utama dapat diketahui bahwa semua *P-value* residual lebih dari taraf signifikansi ($\alpha=0,05$) sehingga dapat disimpulkan bahwa residual telah memenuhi asumsi distribusi Normal.

4.7 Penentuan Nilai Target, Batas Bawah, dan Batas Atas Normalisasi Standar Deviasi Respon

Setelah semua asumsi residual terpenuhi maka dapat dilanjutkan pada tahap optimasi, Tahap optimasi diawali dengan menentukan nilai target, batas atas, dan batas bawah dari normalisasi standar deviasi respon. Penentuan nilai target, batas atas, dan batas bawah dari normalisasi standar deviasi respon dengan menggunakan model *response surface* yang terdapat pada Lampiran 23 sampai 29. Contoh perhitungan nilai target dan batas atas dari normalisasi standar deviasi *bore diameter* dengan menggunakan Persamaan (2.14) adalah sebagai berikut.

$$T'_{1\sigma} = \min_{x \in \Omega} -0,2828 - 0,3241x_1 - 0,3306x_2 - 0,1504x_3 -$$

$$0,1100x_1^2 - 0,1292x_2^2 + 0,7695x_3^2 + 0,9768x_1x_2 - 0,5208x_1x_3 - 0,6940x_2x_3$$

$$T'_{1\sigma} = -0,9742$$

Contoh perhitungan nilai batas atas dari normalisasi standar deviasi *bore diameter* adalah sebagai berikut.

$$y'_{1\sigma} = \max_{x \in \Omega} -0,2828 - 0,3241x_1 - 0,3306x_2 - 0,1504x_3 -$$

$$0,1100x_1^2 - 0,1292x_2^2 + 0,7695x_3^2 + 0,9768x_1x_2 - 0,5208x_1x_3 - 0,6940x_2x_3$$

$$y'_{1\sigma} = 0,3363$$

Dengan cara yang sama, nilai target dan batas atas normalisasi standar deviasi respon *netto* dan ketebalan dinding s_1, s_2, s_3, s_4, s_6 menggunakan Persamaan (2.14) dapat diperoleh. Hasil perhitungan nilai target, batas bawah, dan batas atas dari normalisasi standar deviasi respon dapat disajikan dalam Tabel 4.7 sebagai berikut.

Tabel 4.7 Nilai Target, Batas Bawah, dan Batas Atas Normalisasi Standar Deviasi

Variabel	Nilai Target	Batas Bawah	Batas Atas
$y'_{1\sigma}$	-0,9742	-0,9742	0,3363
$y'_{2\sigma}$	-1,4821	-1,4821	1,3978
$y'_{3\sigma}$	0,1538	0,1538	2,1083
$y'_{4\sigma}$	-2,8204	-2,8204	1,1237
$y'_{5\sigma}$	-1,0061	-1,0061	0,4202
$y'_{6\sigma}$	-1,2756	-1,2756	1,3989
$y'_{7\sigma}$	-1,7971	-1,7971	-0,1304

4.8 Penentuan Nilai Target, Batas Bawah, dan Batas Atas Normalisasi Rata-rata Respon

Perhitungan nilai target, batas bawah, dan batas atas dari normalisasi rata-rata respon dapat dilakukan dengan

menggunakan Persamaan (2.15), (2.16), dan (2.17). Perhitungan nilai target, batas bawah, dan batas atas dari normalisasi rata-rata respon menggunakan data Lampiran 8 sampai 14 dan batas spesifikasi perusahaan. Contoh perhitungan nilai target, batas bawah, dan batas atas dari normalisasi rata-rata *bore diameter* adalah sebagai berikut.

$$T'_{1\mu} = \frac{T_{j\mu} - \bar{y}_{1\mu}}{S_{1\mu}} = \frac{29,19 - 29,1827}{0,1977} = 0,0371$$

$$y'_{1\mu}^{min} = \frac{y_{j\mu}^{min} - \bar{y}_{1\mu}}{S_{1\mu}} = \frac{28,89 - 29,1827}{0,1977} = -1,4802$$

$$y'_{1\mu}^{max} = \frac{y_{j\mu}^{max} - \bar{y}_{1\mu}}{S_{1\mu}} = \frac{29,49 - 29,1827}{0,1977} = 1,5544$$

Dengan cara yang sama, nilai target, batas bawah, dan batas atas dari normalisasi rata-rata *netto* dan ketebalan dinding s1,s2,s3,s4,s6 dapat diperoleh. Hasil perhitungan nilai target, batas bawah, dan batas atas dari normalisasi rata-rata respon disajikan dalam Tabel 4.8 sebagai berikut.

Tabel 4.8 Nilai Target, Batas Bawah, dan Batas Atas Normalisasi Rata-rata

Variabel	Nilai Target	Batas Bawah	Batas Atas
$y'_{1\mu}$	0,0371	-1,4802	1,5544
$y'_{2\mu}$	-4,9700	-11,9211	1,9811
$y'_{3\mu}$	-0,0668	-1,7375	1,6038
$y'_{4\mu}$	-0,3687	-2,0447	1,3073
$y'_{5\mu}$	0,1838	-1,0692	1,4368
$y'_{6\mu}$	0,0654	-1,6871	1,8179
$y'_{7\mu}$	-0,2036	-2,0002	1,5930

4.9 Penentuan Nilai Target, Batas Bawah, dan Batas Atas Serta Fungsi Desirability Lima Komponen Utama

Nilai target, batas bawah, dan batas atas dari lima komponen utama dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan (2.18), (2.19), dan (2.20). Nilai target komponen utama diperoleh dengan

cara mengalikan *eigenvector* setiap komponen utama dari hasil analisis PCA pada Lampiran 15 dengan nilai target dari normalisasi rata-rata dan standar deviasi respon yang telah diperoleh pada sub bab sebelumnya sehingga diperoleh nilai target lima komponen utama yang tercantum dalam Tabel 4.9. Contoh perhitungan nilai target dari komponen utama pertama adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 T_{PC_1} &= PC_1(T'_\mu, T'_\sigma) \\
 &= (-0,103 \times 0,0371) + (0,383 \times 4,9700) + (0,403 \times 0,0668) \\
 &\quad + (0,097 \times -0,3687) + (0,341 \times 0,1838) + (0,354 \times 0,0654) \\
 &\quad + (0,391 \times -0,2036) + (0,122 \times -0,9742) + (-0,134 \times -1,4821) \\
 &\quad + (-0,314 \times 0,1538) + (0,004 \times -2,8204) + (0,125 \times -1,0061) \\
 &\quad + (0,157 \times -1,2756) + (0,323 \times -1,7971)
 \end{aligned}$$

$$T_{PC_1} = -3,8666$$

Hasil perhitungan nilai target lima komponen utama disajikan dalam Tabel 4.9 sebagai berikut.

Tabel 4.9 Nilai Target Lima Komponen Utama

Variabel	Nilai Target
PC_1	-3,8666
PC_2	-4,0390
PC_3	-4,1879
PC_4	-3,3222
PC_5	-3,6130

Nilai batas bawah dan batas atas lima komponen utama dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.19) dan (2.20). Contoh perhitungan batas bawah dan batas atas dari komponen utama pertama (PC_1) adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 L_{PC_1} &= \min -0,103y'_{1\mu} + 0,383y'_{2\mu} + 0,403y'_{3\mu} + 0,097y'_{4\mu} + 0,341y'_{5\mu} \\
 &= 0,354y'_{6\mu} + 0,391y'_{7\mu} + 0,122y'_{1\sigma} - 0,134y'_{2\sigma} - 0,314y'_{3\sigma} \\
 &= 0,004y'_{4\sigma} + 0,125y'_{5\sigma} + 0,157y'_{6\sigma} + 0,323y'_{7\sigma}
 \end{aligned}$$

Batasan : $-1,4802 \leq y'_{1\mu} \leq 1,5544$

$$11,9211 \leq y'_{2\mu} \leq 1,9811$$

$$-1,7375 \leq y'_{3\mu} \leq 1,6038$$

$$-2,0447 \leq y'_{4\mu} \leq 1,3073$$

$$-1,0692 \leq y'_{5\mu} \leq 1,4368$$

$$-1,6871 \leq y'_{6\mu} \leq 1,8179$$

$$-2,002 \leq y'_{7\mu} \leq 1,5930$$

$$-0,9742 \leq y'_{1\sigma} \leq 0,3363$$

$$-1,4821 \leq y'_{2\sigma} \leq 1,3978$$

$$0,1538 \leq y'_{3\sigma} \leq 2,1083$$

$$-2,8204 \leq y'_{4\sigma} \leq 1,1237$$

$$-1,0061 \leq y'_{5\sigma} \leq 0,4202$$

$$-1,2756 \leq y'_{6\sigma} \leq 1,3989$$

$$-1,7971 \leq y'_{7\sigma} \leq -0,1304$$

$$L_{PC_1} = -9,2543$$

$$U_{PC_1} = \max -0,103y'_{1\mu} + 0,383y'_{2\mu} + 0,403y'_{3\mu} + 0,097y'_{4\mu} + 0,341y'_{5\mu}$$

$$= 0,354y'_{6\mu} + 0,391y'_{7\mu} + 0,122y'_{1\sigma} - 0,134y'_{2\sigma} - 0,314y'_{3\sigma}$$

$$= 0,004y'_{4\sigma} + 0,125y'_{5\sigma} + 0,157y'_{6\sigma} + 0,323y'_{7\sigma}$$

Batasan : $-1,4802 \leq y'_{1\mu} \leq 1,5544$

$$11,9211 \leq y'_{2\mu} \leq 1,9811$$

$$-1,7375 \leq y'_{3\mu} \leq 1,6038$$

$$-2,0447 \leq y'_{4\mu} \leq 1,3073$$

$$-1,0692 \leq y'_{5\mu} \leq 1,4368$$

$$-1,6871 \leq y'_{6\mu} \leq 1,8179$$

$$-2,002 \leq y'_{7\mu} \leq 1,5930$$

$$-0,9742 \leq y'_{1\sigma} \leq 0,3363$$

$$-1,4821 \leq y'_{2\sigma} \leq 1,3978$$

$$0,1538 \leq y'_{3\sigma} \leq 2,1083$$

$$-2,8204 \leq y'_{4\sigma} \leq 1,1237$$

$$-1,0061 \leq y'_{5\sigma} \leq 0,4202$$

$$-1,2756 \leq y'_{6\sigma} \leq 1,3989$$

$$-1,7971 \leq y'_{7\sigma} \leq -0,1304$$

$$U_{PC_1} = -2,8501$$

Dengan cara yang sama, batas bawah, dan batas atas dari komponen utama kedua, ketiga, keempat, dan kelima dapat diperoleh. Hasil perhitungan batas bawah dan batas atas lima komponen utama disajikan dalam Tabel 4.10 sebagai berikut.

Tabel 4.10 Nilai Batas Bawah dan Atas Lima Komponen Utama

Variabel	Batas Bawah	Batas Atas
PC_1	-9,2543	-2,8501
PC_2	-6,3397	2,1468
PC_3	-5,0526	-0,8565
PC_4	-5,9572	-1,6744
PC_5	-4,5525	2,4968

Kemudian, membentuk *desirability function* untuk lima komponen utama dengan menggunakan model *response surface* lima komponen utama dan nilai target, batas bawah, dan batas atas yang telah diperoleh pada perhitungan sebelumnya. *Desirability function* untuk lima komponen utama adalah sebagai berikut.

$$d(PC_1) = \begin{cases} \frac{PC_1 + 9,2543}{-3,8666 + 9,2543}, & -9,2543 \leq PC_1 \leq -3,8666 \\ \frac{PC_1 + 2,8501}{-3,8666 + 2,8501}, & -3,8666 < PC_1 \leq -2,8501 \\ 0, & PC_1 < -9,2543 \text{ atau } PC_1 > -2,8501 \end{cases}$$

$$d(PC_2) = \begin{cases} \frac{PC_2 + 6,3397}{-4,0390 + 6,3397}, & -6,3397 \leq PC_2 \leq -4,0390 \\ \frac{PC_2 - 2,1468}{-4,0390 - 2,1468}, & -4,0390 < PC_2 \leq 2,1468 \\ 0, & PC_2 < -6,3397 \text{ atau } PC_2 > 2,1468 \end{cases}$$

$$d(PC_3) = \begin{cases} \frac{PC_3 + 5,0526}{-4,1879 + 5,0526}, & -5,0526 \leq PC_3 \leq -4,1879 \\ \frac{PC_3 + 0,8565}{-4,1879 + 0,8565}, & -4,1879 < PC_3 \leq -0,8565 \\ 0, & PC_3 < -5,0526 \text{ atau } PC_3 > -0,8565 \end{cases}$$

$$d(PC_4) = \begin{cases} \frac{PC_4 + 5,9572}{-3,3222 + 5,9572}, & -5,9572 \leq PC_4 \leq -3,3222 \\ \frac{PC_4 + 1,6744}{-3,3222 + 1,6744}, & -3,3222 < PC_4 \leq -1,6744 \\ 0, & PC_4 < -5,9572 \text{ atau } PC_4 > -1,6744 \end{cases}$$

$$d(PC_5) = \begin{cases} \frac{PC_5 + 4,5525}{-3,6130 + 4,5525}, & -4,5525 \leq PC_5 \leq -3,6130 \\ \frac{PC_5 - 2,4968}{-3,6130 - 2,4968}, & -3,6130 < PC_5 \leq 2,4968 \\ 0, & PC_5 < -4,5525 \text{ atau } PC_5 > 2,4629 \end{cases}$$

4.10 Penentuan Setting Parameter Optimal

Setelah diperoleh *desirability function* dari lima komponen utama, selanjutnya adalah mencari nilai *setting* parameter optimal dengan menggunakan persamaan (2.21). Penentuan nilai *setting* parameter optimal dilakukan dengan menggunakan program *desirability* dan program nonlinier yang tercantum dalam Lampiran 57 dan 58. Perhitungan untuk memperoleh *setting* parameter optimal adalah sebagai berikut.

memaksimumkan $((d(PC_1) \times d(PC_2) \times d(PC_3) \times d(PC_4) \times d(PC_5)))$

Batasan :

$$-1,4802 \leq -0,8059 + 0,4995x_1 + 0,3604x_2 + 0,6069x_3 +$$

$$0,6680x_1^2 + 0,8451x_2^2 - 0,0021x_3^2 - 0,5184x_1x_2 + 0,3540x_1x_3$$

$$-0,6322x_2x_3 \leq 1,5544$$

$$-11,9211 \leq -0,4518 - 0,6625x_1 - 0,7060x_2 - 0,4127x_3 +$$

$$0,6517x_1^2 - 0,2172x_2^2 + 0,4127x_3^2 - 0,1738x_1x_2 - 0,0217x_1x_3$$

$$-0,7168x_2x_3 \leq 1,9811$$

$$-1,7375 \leq -0,4566 - 0,4803x_1 - 0,3968x_2 - 0,4594x_3 +$$

$$0,8841x_1^2 - 0,2854x_2^2 + 0,2576x_3^2 - 1,1277x_1x_2 - 0,2506x_1x_3 \leq 1,6038$$

$$-2,0447 \leq 0,9162 - 0,5237x_1 - 0,6913x_2 - 0,3352x_3 -$$

$$0,8939x_1^2 - 0,3073x_2^2 - 0,5168x_3^2 + 0,4190x_1x_2 - 0,7123x_1x_3$$

$$-0,0419x_2x_3 \leq 1,3073$$

$$-1,0692 \leq -0,5680 - 0,4855x_1 - 0,5795x_2 - 0,6265x_3 +$$

$$0,8458x_1^2 + 0,2819x_2^2 - 0,0627x_3^2 - 0,3759x_1x_2 + 0,0313x_1x_3$$

$$+0,7205x_2x_3 \leq 1,4368$$

$$-1,6871 \leq -1,2431 - 0,3067x_1 - 0,3067x_2 - 0,3505x_3 +$$

$$1,3553x_1^2 + 0,7945x_2^2 + 0,1811x_3^2 - 0,6309x_1x_2 - 0,1928x_1x_3$$

$$-0,4381x_2x_3 \leq 1,8179$$

$$-2,0002 \leq -0,6827 - 0,2919x_1 - 0,3818x_2 - 0,7186x_3 +$$

$$0,6213x_1^2 + 0,1722x_2^2 + 0,4866x_3^2 - 1,0330x_1x_2 - 0,5390x_1x_3$$

$$+0,1797x_2x_3 \leq 1,5930$$

$$-0,9742 \leq -0,2828 - 0,3241x_1 - 0,3306x_2 - 0,1504x_3 -$$

$$0,1100x_1^2 - 0,1292x_2^2 + 0,7695x_3^2 + 0,9768x_1x_2 - 0,5208x_1x_3$$

$$-0,6940x_2x_3 \leq 0,3363$$

$$\begin{aligned}
& -1,4821 \leq 0,1691 + 0,2827x_1 + 0,5067x_2 - 0,4595x_3 - \\
& 0,4183x_1^2 + 0,6818x_2^2 - 0,5805x_3^2 - 0,0233x_1x_2 - 0,4756x_1x_3 \\
& + 0,2583x_2x_3 \leq 1,3978 \\
& 0,1538 \leq 0,3123 + 0,6115x_1 + 0,0005x_2 + 0,0675x_3 - \\
& 0,5714x_1^2 + 0,2120x_2^2 - 0,2260x_3^2 + 1,2482x_1x_2 + 0,2924x_1x_3 \\
& + 0,1613x_2x_3 \leq 2,1083 \\
& -2,8204 \leq 0,7619 - 0,5321x_1 + 0,1678x_2 + 0,0148x_3 - \\
& 0,8749x_1^2 + 0,1811x_2^2 - 0,7347x_3^2 - 0,0861x_1x_2 - 0,8769x_1x_3 \\
& - 0,7957x_2x_3 \leq 1,1237 \\
& -1,0061 \leq 0,3146 - 0,3836x_1 + 0,2611x_2 + 0,2877x_3 + \\
& 0,4047x_1^2 - 0,7674x_2^2 - 0,2272x_3^2 - 0,4688x_1x_2 - 0,3468x_1x_3 \\
& - 0,0804x_2x_3 \leq 0,4202 \\
& -1,2756 \leq -1,1137 + 0,0174x_1 - 0,1592x_2 - 0,3724x_3 + \\
& 0,9552x_1^2 + 0,0380x_2^2 + 1,0950x_3^2 + 1,0426x_1x_2 - 0,0540x_1x_3 \\
& - 0,0500x_2x_3 \leq 1,3989 \\
& -1,7971 \leq -0,7422 - 0,3323x_1 - 0,0248x_2 - 0,4557x_3 + \\
& 0,9441x_1^2 - 0,1279x_2^2 + 0,5755x_3^2 - 0,1804x_1x_2 - 0,7243x_1x_3 \\
& - 0,6168x_2x_3 \leq -0,1304 \\
& -1 \leq x_1, x_2, x_3 \leq 1
\end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan, *setting* parameter optimal yang diperoleh adalah $x_1 = -0,045$, $x_2 = 0,469$, $x_3 = -0,578$. Hasil *setting* parameter optimal tersebut merupakan bentuk terkode. Untuk mengetahui *setting* parameter asli maka hasil *setting* parameter dalam bentuk terkode harus diubah menjadi nilai asli. Hasil pengubahan *setting* parameter menjadi bentuk asli adalah sebagai berikut.

Untuk parameter temperatur *die* adalah

$$\begin{aligned}x_1 &= \frac{\xi_1 - 180}{20} \\-0,045 &= \frac{\xi_1 - 180}{20} \\ \xi_1 &= 179,1\end{aligned}$$

Untuk parameter *blowing time* adalah

$$\begin{aligned}x_2 &= \frac{\xi_2 - 5,25}{0,75} \\0,469 &= \frac{\xi_2 - 5,25}{0,75} \\ \xi_2 &= 5,602\end{aligned}$$

Untuk parameter *blowing pressure* adalah

$$\begin{aligned}x_3 &= \frac{\xi_3 - 6}{2} \\-0,578 &= \frac{\xi_3 - 6}{2} \\ \xi_3 &= 4,844\end{aligned}$$

4.11 Hasil Optimasi Bore Diameter, Netto, dan Ketebalan Dinding Botol

Setelah diperoleh nilai *setting* parameter untuk temperature *die*, *blowing time*, dan *blowing pressure* selanjutnya adalah menghitung nilai prediksi respon dengan memasukkan *setting* parameter yang diperoleh ke dalam model *response surface* serta mencari nilai *desirability* masing-masing respon. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah dengan *setting* parameter yang diperoleh mampu menghasilkan respon yang memenuhi batas spesifikasi perusahaan. Model *response surface* untuk respon *bore diameter*, *netto*, dan ketebalan dinding s1,s2,s3,s4,s6 berdasarkan analisis *response surface* yang disajikan dalam Lampiran 60 sampai 66 adalah sebagai berikut.

a. *Model response surface bore diameter*

$$\hat{y}_1(x) = 29,0233 + 0,0988x_1 + 0,0712x_2 + 0,1200x_3 + \\ 0,1321x_1^2 + 0,1671x_2^2 - 0,0004x_3^2 - 0,1025x_1x_2 + 0,0700x_1x_3 \\ - 0,1250x_2x_3$$

b. *Model response surface netto*

$$\hat{y}_2(x) = 15,3200 - 0,0762x_1 - 0,0813x_2 - 0,0475x_3 + \\ 0,0750x_1^2 - 0,0250x_2^2 + 0,0475x_3^2 - 0,0200x_1x_2 - 0,0025x_1x_3 \\ - 0,0825x_2x_3$$

c. *Model response surface ketebalan dinding s1*

$$\hat{y}_3(x) = 0,876667 - 0,02875x_1 - 0,02375x_2 - 0,0275x_3 + \\ 0,0529x_1^2 - 0,0171x_2^2 + 0,01542x_3^2 - 0,0675x_1x_2 - 0,015x_1x_3 \\ - 0,015x_2x_3$$

d. *Model response surface ketebalan dinding s2*

$$\hat{y}_4(x) = 0,876667 - 0,03125x_1 - 0,04125x_2 - 0,02x_3 - \\ 0,0533x_1^2 - 0,01833x_2^2 - 0,030833x_3^2 + 0,025x_1x_2 \\ - 0,0425x_1x_3 - 0,0025x_2x_3$$

e. *Model response surface ketebalan dinding s3*

$$\hat{y}_5(x) = 0,3400 - 0,03875x_1 - 0,04625x_2 - 0,025x_3 + \\ 0,0675x_1^2 + 0,0225x_2^2 - 0,005x_3^2 - 0,03x_1x_2 + 0,0025x_1x_3 \\ + 0,0575x_2x_3$$

e. *Model response surface ketebalan dinding s4*

$$\hat{y}_6(x) = 0,4633 - 0,04375x_1 - 0,04375x_2 - 0,05x_3 + \\ 0,1933x_1^2 + 0,1133x_2^2 - 0,02583x_3^2 - 0,090x_1x_2 - 0,0275x_1x_3 \\ + 0,0625x_2x_3$$

f. *Model response surface ketebalan dinding s6*

$$\hat{y}_7(x) = 0,7733 - 0,01625x_1 - 0,02125x_2 - 0,04x_3 + \\ 0,034583x_1^2 + 0,009583x_2^2 - 0,027083x_3^2 - 0,5750x_1x_2 \\ - 0,0300x_1x_3 + 0,0100x_2x_3$$

Hasil prediksi respon dengan menggunakan *model response surface* pada Lampiran 60 sampai 66 dan *individual desirability* dengan menggunakan persamaan (2.7) pada masing-masing respon disajikan dalam Tabel 4.11 sebagai berikut.

Tabel 4.11 Nilai Prediksi Respon dan *Individual Desirability*

Variabel Respon	$\hat{y}_i(x)$	$d_i(x)$
<i>Bore Diameter</i>	29,05801	0,5600
<i>Netto</i>	15,346	0,3175
Ketebalan dinding s1	0,8852	0,8525
Ketebalan dinding s2	0,8549	0,4511
Ketebalan dinding s3	0,3375	0,3748
Ketebalan dinding s4	0,5257	0,5029
Ketebalan dinding s6	0,7962	0,9617

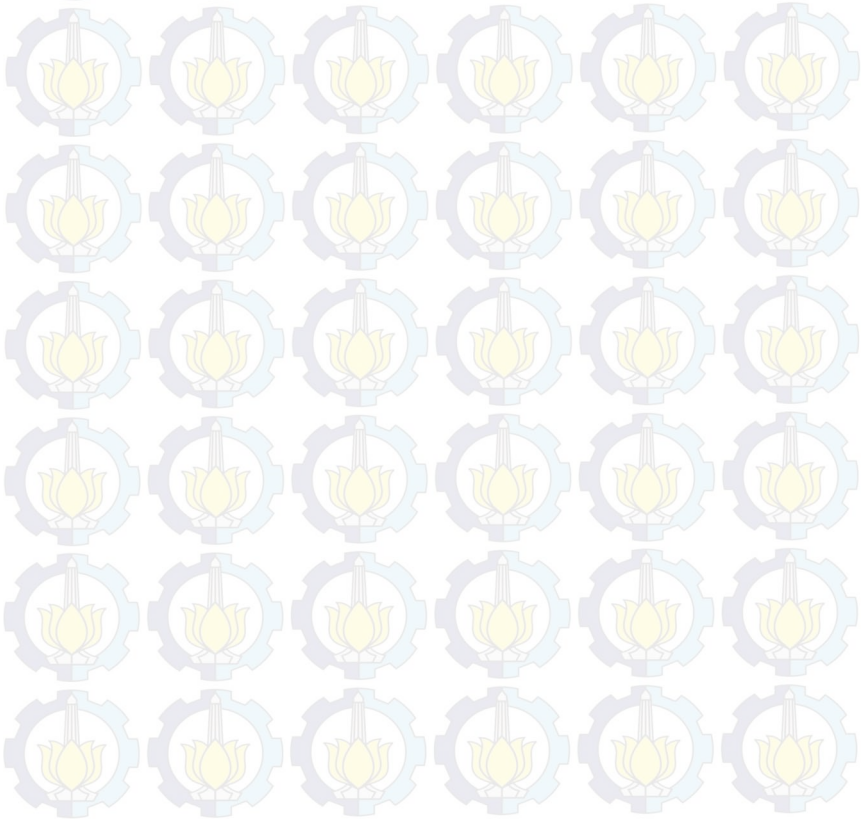
Setelah memperoleh *individual desirability* berdasarkan Tabel 4.11, selanjutnya dengan menggunakan Persamaan (2.6) diperoleh *global desirability* sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 D &= (d_1(x)d_2(x)d_3(x)d_4(x)d_5(x)d_6(x)d_7(x))^{1/r} \\
 &= (0,5600 \times 0,3175 \times 0,8525 \times \dots \times 0,9617)^{1/7} \\
 &= 0,5341
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 4.11 dapat diketahui bahwa nilai prediksi respon *bore diameter*, *netto*, dan ketebalan dinding s1,s2,s3,s4,s6 memenuhi batas spesifikasi yang ditetapkan oleh perusahaan. Sehingga dapat dikatakan bahwa *setting* parameter yang diperoleh telah mampu menghasilkan prediksi respon yang memenuhi batas spesifikasi. Nilai prediksi respon yang telah diperoleh memenuhi batas spesifikasi perusahaan tetapi belum mampu menghasilkan respon yang tepat mencapai target yang diinginkan perusahaan. Namun, nilai prediksi respon dengan menggunakan *setting* parameter yang diperoleh lebih mendekati target dibandingkan dengan *setting* perusahaan. Nilai *global desirability* yang diperoleh adalah 0,5341 dimana nilai tersebut

masih jauh dari 1. Hal ini disebabkan karena belum tercapainya respon pada target yang diinginkan.

Nilai *global desirability* yang diperoleh dalam penelitian ini lebih rendah jika dibandingkan dengan penelitian Setyawan (2008) yang memperoleh nilai *global desirability* sebesar 0,7617 namun penentuan *setting* parameter yang telah diperoleh dengan menggunakan *Principal Component Analysis* dan *Desirability Function* lebih tepat diterapkan karena terdapat korelasi antar respon pada data yang digunakan dalam penelitian ini.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, kesimpulan yang diperoleh adalah *setting* parameter dengan menggunakan *Principal Component Analysis* dan *Desirability Function* yang menghasilkan respon optimum diperoleh hasil yaitu temperatur *die* sebesar 179,1°C, *blowing time* sebesar 5,602 detik, dan *blowing pressure* sebesar 4,844 bar. Serta hasil nilai prediksi respon *bore diameter* sebesar 29,05801 mm, *netto* sebesar 15,346 gram, ketebalan dinding s1 sebesar 0,8852 mm, ketebalan dinding s2 sebesar 0,8549 mm, ketebalan dinding s3 sebesar 0,3375 mm, ketebalan dinding s4 sebesar 0,5257 mm, dan ketebalan dinding s6 sebesar 0,7962 mm.

5.2 Saran

Berdasarkan analisis dan pembahasan serta kesimpulan yang didapatkan, saran yang diberikan penulis adalah *setting* parameter yang telah diperoleh pada penelitian ini dapat direkomendasikan untuk dicobakan di perusahaan apakah *setting* sesuai untuk diterapkan secara riil di perusahaan. Apabila *setting* parameter yang telah diperoleh sesuai dengan kondisi perusahaan dan mampu menghasilkan respon optimum maka perusahaan dapat menggunakan *setting* parameter dalam penelitian ini.



LAMPIRAN 1. Data *Bore Diameter*

Parameter			Replikasi							
T	BT	BP	1	2	3	4	5	6	7	8
160	4.5	6	29.01	28.8	29.14	29.24	28.85	29.13	29.05	28.94
200	4.5	6	29.54	29.38	29.41	29.48	29.35	29.59	29.51	29.42
160	6	6	29.39	29.34	29.36	29.4	29.39	29.47	29.42	29.35
200	6	6	29.26	29.41	29.46	29.52	29.28	29.5	29.49	29.44
160	5.25	4	28.79	28.95	29.12	28.83	29.01	29.06	29.2	28.96
200	5.25	4	28.93	29.03	28.79	29.22	29.08	28.99	28.91	29.13
160	5.25	8	29.21	29.04	29.29	28.94	29.24	29.35	29.03	29.18
200	5.25	8	29.31	29.52	29.51	29.46	29.47	29.4	29.48	29.53
180	4.5	4	28.8	28.91	28.83	28.95	29.08	29.01	28.87	28.91
180	6	4	29.18	29.24	29.06	29.24	29.31	29.37	29.41	29.51
180	4.5	8	29.5	29.12	29.34	29.43	29.48	29.15	29.27	29.43
180	6	8	29.31	29.19	29.27	29.36	29.03	29.12	29.24	29.16
180	5.25	6	29.15	29.27	28.95	28.99	29.06	29.18	29.23	29.13
180	5.25	6	28.97	29.06	29.12	28.83	29.09	29.1	28.91	29.08
180	5.25	6	28.89	28.92	28.85	28.87	29.11	28.89	28.9	29.01

LAMPIRAN 2. Data Netto

Parameter			Replikasi							
T	BT	BP	1	2	3	4	5	6	7	8
160	4.5	6	15.49	15.54	15.33	15.6	15.39	15.57	15.44	15.56
200	4.5	6	15.29	15.46	15.24	15.51	15.49	15.42	15.18	15.37
160	6	6	14.98	15.58	15.47	15.29	15.57	15.5	15.36	15.53
200	6	6	14.92	15.39	14.88	15.45	15.41	15.32	15.12	15.19
160	5.25	4	15.49	15.58	15.57	15.58	15.59	15.57	15.59	15.59
200	5.25	4	15.26	15.38	15.57	15.52	15.43	15.49	15.22	15.57
160	5.25	8	15.29	15.39	15.51	15.49	15.41	15.58	15.52	15.49
200	5.25	8	15.22	15.38	15.28	15.27	15.3	15.46	15.24	15.33
180	4.5	4	14.95	15.22	15.47	15.56	15.51	15.42	15.54	15.53
180	6	4	14.88	15.34	15.42	15.51	15.44	15.41	15.46	15.42
180	4.5	8	15.36	15.52	15.48	15.58	15.43	15.52	15.48	15.55
180	6	8	15.02	15.18	15.08	15.33	15.21	15.06	14.95	15.13
180	5.25	6	15.26	15.31	15.29	15.53	15.47	15.43	15.18	15.41
180	5.25	6	15.03	15.42	14.92	15.42	15.52	15.39	15.23	15.31
180	5.25	6	15.28	15.39	15.23	15.48	15.15	15.41	15.29	15.33

LAMPIRAN 3. Data Ketebalan Dinding s1

Parameter			Replikasi							
T	BT	BP	1	2	3	4	5	6	7	8
160	4.5	6	0.89	0.98	0.92	0.86	0.91	0.84	0.87	0.85
200	4.5	6	0.95	0.98	0.94	0.97	0.99	0.98	0.97	0.98
160	6	6	1	1	0.96	0.99	0.99	0.98	1	1
200	6	6	0.91	0.85	0.81	0.74	0.77	0.75	0.79	0.78
160	5.25	4	0.97	1	0.97	0.98	0.98	0.98	0.97	0.99
200	5.25	4	0.93	0.96	0.95	0.99	0.97	0.97	0.94	0.89
160	5.25	8	0.98	0.99	0.97	0.96	0.98	0.94	0.97	0.97
200	5.25	8	0.92	0.95	0.88	0.79	0.85	0.92	0.84	0.89
180	4.5	4	0.97	0.96	0.95	0.94	0.89	0.85	0.99	0.97
180	6	4	0.86	0.91	0.94	0.87	0.91	0.85	0.88	0.82
180	4.5	8	0.88	0.86	0.92	0.89	0.9	0.82	0.85	0.84
180	6	8	0.87	0.79	0.8	0.82	0.79	0.77	0.79	0.85
180	5.25	6	0.88	0.9	0.79	0.84	0.89	0.85	0.82	0.91
180	5.25	6	0.91	0.94	0.86	0.89	0.92	0.87	0.89	0.84
180	5.25	6	0.93	0.87	0.81	0.91	0.86	0.89	0.92	0.85

LAMPIRAN 4. Data Ketebalan Dinding s2

Parameter			Replikasi							
T	BT	BP	1	2	3	4	5	6	7	8
160	4.5	6	0.92	0.98	0.93	0.87	0.91	0.86	0.88	0.85
200	4.5	6	0.81	0.84	0.79	0.78	0.73	0.81	0.79	0.77
160	6	6	0.86	0.84	0.76	0.73	0.75	0.75	0.73	0.74
200	6	6	0.82	0.79	0.75	0.71	0.74	0.73	0.78	0.76
160	5.25	4	0.81	0.8	0.79	0.78	0.76	0.84	0.79	0.75
200	5.25	4	0.84	0.81	0.85	0.74	0.82	0.84	0.8	0.78
160	5.25	8	0.88	0.86	0.87	0.78	0.93	0.83	0.85	0.88
200	5.25	8	0.7	0.7	0.71	0.72	0.71	0.72	0.71	0.71
180	4.5	4	0.91	0.93	0.9	0.88	0.89	0.85	0.91	0.93
180	6	4	0.79	0.75	0.87	0.82	0.85	0.8	0.9	0.78
180	4.5	8	0.83	0.76	0.94	0.89	0.82	0.81	0.85	0.82
180	6	8	0.72	0.71	0.78	0.81	0.72	0.74	0.73	0.79
180	5.25	6	0.88	0.97	0.79	0.86	0.89	0.85	0.86	0.94
180	5.25	6	0.84	0.94	0.86	0.82	0.91	0.87	0.8	0.84
180	5.25	6	0.96	0.87	0.83	0.94	0.86	0.89	0.92	0.85

LAMPIRAN 5. Data Ketebalan Dinding s3

Parameter			Replikasi							
T	BT	BP	1	2	3	4	5	6	7	8
160	4.5	6	0.56	0.49	0.48	0.48	0.5	0.49	0.48	0.52
200	4.5	6	0.49	0.47	0.49	0.45	0.42	0.47	0.46	0.51
160	6	6	0.43	0.48	0.45	0.46	0.47	0.46	0.49	0.36
200	6	6	0.29	0.27	0.3	0.32	0.34	0.29	0.31	0.28
160	5.25	4	0.52	0.46	0.51	0.49	0.53	0.48	0.44	0.49
200	5.25	4	0.41	0.44	0.42	0.37	0.47	0.44	0.42	0.39
160	5.25	8	0.33	0.35	0.41	0.36	0.41	0.42	0.44	0.32
200	5.25	8	0.28	0.29	0.31	0.34	0.31	0.36	0.37	0.3
180	4.5	4	0.52	0.51	0.49	0.47	0.51	0.48	0.52	0.5
180	6	4	0.32	0.29	0.36	0.27	0.3	0.31	0.32	0.31
180	4.5	8	0.29	0.28	0.3	0.28	0.3	0.33	0.25	0.29
180	6	8	0.35	0.34	0.38	0.29	0.33	0.32	0.32	0.31
180	5.25	6	0.42	0.41	0.43	0.48	0.36	0.34	0.32	0.36
180	5.25	6	0.34	0.28	0.32	0.29	0.34	0.31	0.3	0.3
180	5.25	6	0.32	0.3	0.36	0.31	0.32	0.29	0.35	0.31

LAMPIRAN 6. Data Ketebalan Dinding s4

Parameter			Replikasi							
T	BT	BP	1	2	3	4	5	6	7	8
160	4.5	6	0.85	0.86	0.76	0.68	0.86	0.87	0.83	0.69
200	4.5	6	0.89	0.83	0.87	0.79	0.81	0.88	0.86	0.87
160	6	6	0.88	0.88	0.89	0.84	0.82	0.89	0.89	0.87
200	6	6	0.49	0.52	0.56	0.62	0.45	0.7	0.61	0.53
160	5.25	4	0.72	0.59	0.64	0.77	0.82	0.84	0.83	0.71
200	5.25	4	0.74	0.62	0.66	0.72	0.85	0.88	0.81	0.72
160	5.25	8	0.59	0.65	0.71	0.58	0.73	0.61	0.77	0.72
200	5.25	8	0.52	0.58	0.52	0.58	0.49	0.69	0.63	0.55
180	4.5	4	0.5	0.64	0.66	0.51	0.61	0.63	0.69	0.64
180	6	4	0.61	0.67	0.73	0.57	0.68	0.64	0.72	0.74
180	4.5	8	0.62	0.69	0.65	0.58	0.71	0.59	0.74	0.7
180	6	8	0.43	0.51	0.45	0.52	0.42	0.48	0.53	0.42
180	5.25	6	0.47	0.52	0.51	0.57	0.44	0.52	0.51	0.46
180	5.25	6	0.41	0.41	0.43	0.44	0.41	0.4	0.42	0.44
180	5.25	6	0.48	0.52	0.41	0.5	0.43	0.47	0.44	0.51

LAMPIRAN 7. Data Ketebalan Dinding s6

Parameter			Replikasi							
T	BT	BP	1	2	3	4	5	6	7	8
160	4.5	6	0.79	0.78	0.74	0.88	0.81	0.84	0.71	0.85
200	4.5	6	0.85	0.83	0.84	0.96	0.79	0.98	0.91	0.88
160	6	6	0.86	0.77	0.89	0.91	0.81	0.95	0.93	0.84
200	6	6	0.69	0.66	0.81	0.71	0.77	0.75	0.74	0.63
160	5.25	4	0.87	0.83	0.94	0.79	0.78	0.96	0.92	0.79
200	5.25	4	0.93	0.86	0.95	0.81	0.77	0.97	0.94	0.89
160	5.25	8	0.74	0.71	0.97	0.83	0.86	0.94	0.9	0.77
200	5.25	8	0.71	0.73	0.83	0.72	0.78	0.8	0.74	0.69
180	4.5	4	0.87	0.76	0.85	0.94	0.91	0.95	0.89	0.87
180	6	4	0.79	0.91	0.94	0.78	0.86	0.82	0.74	0.72
180	4.5	8	0.74	0.71	0.8	0.86	0.81	0.82	0.73	0.77
180	6	8	0.76	0.77	0.73	0.82	0.78	0.72	0.76	0.74
180	5.25	6	0.78	0.8	0.75	0.72	0.77	0.87	0.82	0.81
180	5.25	6	0.85	0.75	0.77	0.73	0.72	0.87	0.79	0.76
180	5.25	6	0.73	0.7	0.71	0.75	0.76	0.82	0.81	0.72

**LAMPIRAN 8. Normalisasi Rata-rata dan Standar Deviasi
Bore Diameter**

Pengamatan ke-	Rata-rata (\bar{y}_{ij})	Standar deviasi (S_{ij})	y'_{ij}	S'_{ij}
1	29.02	0.1510	-0.8227	1.2713
2	29.46	0.0835	1.4027	-0.8486
3	29.39	0.0421	1.0486	-2.1490
4	29.42	0.0990	1.2004	-0.3618
5	28.99	0.1386	-0.9745	0.8809
6	29.01	0.1358	-0.8733	0.7926
7	29.16	0.1424	-0.1146	1.0022
8	29.46	0.0733	1.4027	-1.1691
9	28.92	0.0924	-1.3285	-0.5681
10	29.29	0.1412	0.5429	0.9643
11	29.34	0.1468	0.7957	1.1388
12	29.21	0.1072	0.1382	-0.1050
13	29.12	0.1125	-0.3169	0.0624
14	29.02	0.1050	-0.8227	-0.1727
15	28.93	0.0870	-1.2779	-0.7381
$\bar{\bar{y}}_{ij}$	29.183	0.1105		
$\bar{\bar{S}}_{ij}$	0.1977	0.0318		

**LAMPIRAN 9. Normalisasi Rata-rata dan Standar Deviasi
Netto**

Pengamatan ke-	Rata-rata (\bar{y}_{ij})	Standar deviasi (S_{ij})	y'_{ij}	S'_{ij}
1	15.49	0.0956	1.0253	-0.6438
2	15.37	0.1219	-0.0174	-0.2044
3	15.41	0.2009	0.3302	1.1162
4	15.21	0.2216	-1.4076	1.4623
5	15.57	0.0334	1.7204	-1.6846
6	15.43	0.1344	0.5040	0.0044
7	15.46	0.0915	0.7646	-0.7127
8	15.31	0.0787	-0.5387	-0.9261
9	15.40	0.2119	0.2433	1.3014
10	15.36	0.1998	-0.1043	1.0983
11	15.49	0.0699	1.0253	-1.0739
12	15.12	0.1195	-2.1896	-0.2440
13	15.36	0.1184	-0.1043	-0.2621
14	15.28	0.2085	-0.7994	1.2445
15	15.32	0.1057	-0.4518	-0.4753
$\bar{\bar{y}}_{ij}$	15.372	0.1341		
$\bar{\bar{S}}_{ij}$	0.11509	0.0598		

**LAMPIRAN 10. Normalisasi Rata-rata dan Standar Deviasi
Ketebalan Dinding s1**

Pengamatan ke-	Rata-rata (\bar{y}_{ij})	Standar deviasi (S_{ij})	y'_{ij}	S'_{ij}
1	0.89	0.0460	-0.2339	0.8390
2	0.97	0.0169	1.1026	-1.1987
3	0.99	0.0141	1.4368	-1.3921
4	0.8	0.0563	-1.7375	1.5631
5	0.98	0.0107	1.2697	-1.6340
6	0.95	0.0307	0.7685	-0.2314
7	0.97	0.0151	1.1026	-1.3237
8	0.88	0.0518	-0.4010	1.2484
9	0.94	0.0469	0.6014	0.9036
10	0.88	0.0385	-0.4010	0.3179
11	0.87	0.0334	-0.5680	-0.0440
12	0.81	0.0342	-1.5704	0.0152
13	0.86	0.0421	-0.7351	0.5662
14	0.89	0.0330	-0.2339	-0.0742
15	0.88	0.0404	-0.4010	0.4447
$\bar{\bar{y}}_{ij}$	0.904	0.0340		
$\bar{\bar{S}}_{ij}$	0.05986	0.0143		

LAMPIRAN 11. Normalisasi Rata-rata dan Standar Deviasi Ketebalan Dinding s2

Pengamatan ke-	Rata-rata (\bar{y}_{ij})	Standar deviasi (S_{ij})	y'_{ij}	S'_{ij}
1	0.9	0.0434	1.3073	0.2980
2	0.79	0.0325	-0.5363	-0.5674
3	0.77	0.0507	-0.8715	0.8757
4	0.76	0.0355	-1.0391	-0.3340
5	0.79	0.0283	-0.5363	-0.9028
6	0.81	0.0366	-0.2011	-0.2397
7	0.86	0.0434	0.6369	0.2980
8	0.71	0.0076	-1.8771	-2.5465
9	0.9	0.0267	1.3073	-1.0264
10	0.82	0.0501	-0.0335	0.8308
11	0.84	0.0545	0.3017	1.1772
12	0.75	0.0378	-1.2067	-0.1484
13	0.88	0.0555	0.9721	1.2596
14	0.86	0.0463	0.6369	0.5253
15	0.89	0.0460	1.1397	0.5007
$\bar{\bar{y}}_{ij}$	0.822	0.0397		
\bar{S}_{ij}	0.05967	0.0126		

LAMPIRAN 12. Normalisasi Rata-rata dan Standar Deviasi Ketebalan Dinding s3

Pengamatan ke-	Rata-rata (\bar{y}_{ij})	Standar deviasi (S_{ij})	y'_{ij}	S'_{ij}
1	0.5	0.0278	1.4368	-0.2519
2	0.47	0.0278	1.0609	-0.2519
3	0.45	0.0407	0.8103	1.0933
4	0.3	0.0227	-1.0692	-0.7820
5	0.49	0.0302	1.3115	0.0043
6	0.42	0.0312	0.4344	0.1010
7	0.38	0.0454	-0.0668	1.5767
8	0.32	0.0330	-0.8186	0.2864
9	0.5	0.0185	1.4368	-1.2148
10	0.31	0.0262	-0.9439	-0.4171
11	0.29	0.0227	-1.1945	-0.7820
12	0.33	0.0273	-0.6933	-0.3059
13	0.39	0.0537	0.0585	2.4465
14	0.31	0.0220	-0.9439	-0.8484
15	0.32	0.0239	-0.8186	-0.6544
$\bar{\bar{y}}_{ij}$	0.38533	0.0302		
$\bar{\bar{S}}_{ij}$	0.07981	0.0096		

LAMPIRAN 13. Normalisasi Rata-rata dan Standar Deviasi Ketebalan Dinding s4

Pengamatan ke-	Rata-rata (\bar{y}_{ij})	Standar deviasi (S_{ij})	y'_{ij}	S'_{ij}
1	0.8	0.0789	1.1169	0.8913
2	0.85	0.0359	1.4674	-0.9558
3	0.87	0.0262	1.6076	-1.3705
4	0.56	0.0804	-0.5655	0.9529
5	0.74	0.0920	0.6963	1.4507
6	0.75	0.0906	0.7664	1.3903
7	0.67	0.0719	0.2056	0.5907
8	0.57	0.0655	-0.4954	0.3142
9	0.61	0.0689	-0.2150	0.4601
10	0.67	0.0605	0.2056	0.1001
11	0.66	0.0590	0.1355	0.0386
12	0.47	0.0460	-1.1964	-0.5215
13	0.5	0.0414	-0.9861	-0.7178
14	0.42	0.0151	-1.5469	-1.8452
15	0.47	0.0400	-1.1964	-0.7780
$\bar{\bar{y}}_{ij}$	0.64067	0.0581		
\bar{S}_{ij}	0.14265	0.0233		

LAMPIRAN 14. Normalisasi Rata-rata dan Standar Deviasi Ketebalan Dinding s6

Pengamatan ke-	Rata-rata (\bar{y}_{ij})	Standar deviasi (S_{ij})	y'_{ij}	S'_{ij}
1	0.8	0.0571	-0.2036	-0.1777
2	0.88	0.0659	1.2337	0.3916
3	0.87	0.0616	1.0540	0.1171
4	0.72	0.0593	-1.6409	-0.0352
5	0.86	0.0729	0.8743	0.8429
6	0.89	0.0715	1.4133	0.7536
7	0.84	0.0947	0.5150	2.2497
8	0.75	0.0484	-1.1019	-0.7367
9	0.88	0.0598	1.2337	-0.0043
10	0.82	0.0784	0.1557	1.1960
11	0.78	0.0513	-0.5629	-0.5518
12	0.76	0.0316	-0.9223	-1.8187
13	0.79	0.0460	-0.3833	-0.8928
14	0.78	0.0542	-0.5629	-0.3598
15	0.75	0.0447	-1.1019	-0.9741
$\bar{\bar{y}}_{ij}$	0.81133	0.0598		
$\bar{\bar{S}}_{ij}$	0.05566	0.0155		

LAMPIRAN 15. *Output Principal Component Analysis*

Principal Component Analysis: y1, y2, y3, y4, y5, y6, y7, s1, s2, s3, s4, s5, s6, s7								
Eigenanalysis of the Correlation Matrix								
Eigenvalue	4.9957	2.3834	1.9099	1.4649	1.1144	0.7043	0.6431	0.3680
Proportion	0.357	0.170	0.136	0.105	0.080	0.050	0.046	0.026
Cumulative	0.357	0.527	0.664	0.768	0.848	0.898	0.944	0.970
Eigenvalue	0.1713	0.1276	0.0676	0.0445	0.0053	0.0000		
Proportion	0.012	0.009	0.005	0.003	0.000	0.000		
Cumulative	0.982	0.992	0.996	1.000	1.000	1.000		
Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
y1	-0.103	0.480	-0.131	0.315	-0.299	-0.001	-0.332	0.213
y2	0.383	-0.172	-0.072	0.099	0.037	-0.078	-0.238	0.470
y3	0.403	0.168	0.123	-0.105	0.092	-0.089	0.209	0.272
y4	0.097	-0.503	0.336	-0.152	0.038	0.101	-0.128	0.356
y5	0.341	0.035	0.015	-0.340	0.267	0.219	-0.304	-0.303
y6	0.354	0.224	-0.077	0.005	-0.191	-0.039	-0.528	-0.068
y7	0.391	0.114	0.128	-0.217	-0.055	0.003	0.074	-0.266
s1	0.122	-0.484	-0.229	0.264	-0.253	-0.129	0.018	-0.317
s2	-0.134	0.126	0.325	-0.421	-0.551	0.267	0.066	-0.119
s3	-0.314	-0.185	-0.200	-0.257	-0.084	0.431	-0.312	0.300
s4	0.004	-0.241	0.510	0.351	-0.269	-0.067	-0.305	-0.223
s5	0.125	0.099	0.172	0.498	0.252	0.748	0.123	-0.069
s6	0.157	-0.204	-0.579	-0.055	-0.162	0.261	0.013	-0.191
s7	0.323	-0.003	-0.063	0.081	-0.502	0.143	0.431	0.264
Variable	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13	PC14		
y1	-0.375	-0.070	-0.041	-0.451	0.152	0.157		
y2	0.339	-0.265	-0.517	-0.115	-0.134	-0.199		
y3	0.097	-0.087	0.087	0.187	0.461	0.614		
y4	-0.338	0.150	0.310	-0.276	0.292	-0.229		
y5	-0.233	0.385	-0.340	-0.184	-0.189	0.273		
y6	0.046	0.178	0.289	0.509	0.133	-0.323		
y7	-0.198	-0.681	0.279	-0.180	-0.260	-0.105		
s1	-0.422	-0.178	-0.312	0.246	0.256	0.115		
s2	0.165	-0.058	-0.371	-0.005	0.316	-0.150		
s3	-0.079	-0.286	0.108	0.318	-0.245	0.346		
s4	0.343	0.035	0.149	-0.108	-0.212	0.376		
s5	-0.007	-0.088	-0.049	0.105	0.125	-0.129		
s6	0.415	0.057	0.275	-0.398	0.229	0.054		
s7	-0.156	0.350	0.057	0.068	-0.449	0.030		

LAMPIRAN 16. *Output Response Surface Normalisasi Rata-rata Bore Diameter*

Response Surface Regression: y1 versus A, B, C

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for y1

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.805862	0.2325	-3.466	0.018
A	0.499449	0.1424	3.508	0.017
B	0.360362	0.1424	2.531	0.052
C	0.606925	0.1424	4.263	0.008
A*A	0.668039	0.2096	3.188	0.024
B*B	0.845059	0.2096	4.033	0.010
C*C	-0.002107	0.2096	-0.010	0.992
A*B	-0.518415	0.2013	-2.575	0.050
A*C	0.354040	0.2013	1.758	0.139
B*C	-0.632214	0.2013	-3.140	0.026

S = 0.402663 PRESS = 6.61638

R-Sq = 94.21% R-Sq(pred) = 52.74% R-Sq(adj) = 83.79%

Analysis of Variance for y1

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	13.1893	13.1893	1.46548	9.04	0.013
Linear	3	5.9813	5.9813	1.99378	12.30	0.010
A	1	1.9956	1.9956	1.99559	12.31	0.017
B	1	1.0389	1.0389	1.03889	6.41	0.052
C	1	2.9469	2.9469	2.94687	18.18	0.008
Square	3	4.0328	4.0328	1.34427	8.29	0.022
A*A	1	1.3793	1.6478	1.64779	10.16	0.024
B*B	1	2.6535	2.6368	2.63677	16.26	0.010
C*C	1	0.0000	0.0000	0.00002	0.00	0.992
Interaction	3	3.1752	3.1752	1.05839	6.53	0.035
A*B	1	1.0750	1.0750	1.07502	6.63	0.050
A*C	1	0.5014	0.5014	0.50138	3.09	0.139
B*C	1	1.5988	1.5988	1.59878	9.86	0.026
Residual Error	5	0.8107	0.8107	0.16214		
Lack-of-Fit	3	0.3485	0.3485	0.11618	0.50	0.718
Pure Error	2	0.4622	0.4622	0.23108		
Total	14	14.0000				

Estimated Regression Coefficients for y1 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-0.805862
A	0.499449
B	0.360362
C	0.606925
A*A	0.668039
B*B	0.845059
C*C	-0.00210738
A*B	-0.518415
A*C	0.354040
B*C	-0.632214

LAMPIRAN 17. *Output Response Surface Normalisasi Rata-rata Netto*

Response Surface Regression: y2 versus A, B, C

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for y2

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.45182	0.1972	-2.291	0.071
A	-0.66252	0.1207	-5.487	0.003
B	-0.70597	0.1207	-5.847	0.002
C	-0.41272	0.1207	-3.418	0.019
A*A	0.65166	0.1777	3.666	0.014
B*B	-0.21722	0.1777	-1.222	0.276
C*C	0.41272	0.1777	2.322	0.068
A*B	-0.17378	0.1708	-1.018	0.356
A*C	-0.02172	0.1708	-0.127	0.904
B*C	-0.71683	0.1708	-4.198	0.009

S = 0.341528 PRESS = 6.00949

R-Sq = 95.83% R-Sq(pred) = 57.08% R-Sq(adj) = 88.34%

Analysis of Variance for y2

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	13.4168	13.4168	1.49075	12.78	0.006
Linear	3	8.8614	8.8614	2.95379	25.32	0.002
A	1	3.5115	3.5115	3.51151	30.11	0.003
B	1	3.9871	3.9871	3.98714	34.18	0.002
C	1	1.3627	1.3627	1.36270	11.68	0.019
Square	3	2.3774	2.3774	0.79246	6.79	0.033
A*A	1	1.5182	1.5680	1.56800	13.44	0.014
B*B	1	0.2302	0.1742	0.17422	1.49	0.276
C*C	1	0.6289	0.6289	0.62894	5.39	0.068
Interaction	3	2.1781	2.1781	0.72602	6.22	0.038
A*B	1	0.1208	0.1208	0.12079	1.04	0.356
A*C	1	0.0019	0.0019	0.00189	0.02	0.904
B*C	1	2.0554	2.0554	2.05538	17.62	0.009
Residual Error	5	0.5832	0.5832	0.11664		
Lack-of-Fit	3	0.3416	0.3416	0.11387	0.94	0.552
Pure Error	2	0.2416	0.2416	0.12079		
Total	14	14.0000				

Estimated Regression Coefficients for y2 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-0.451820
A	-0.662525
B	-0.705969
C	-0.412720
A*A	0.651664
B*B	-0.217221
C*C	0.412720
A*B	-0.173777
A*C	-0.0217221
B*C	-0.716830

LAMPIRAN 18. *Output Response Surface Normalisasi Rata-rata Ketebalan Dinding s1*

Response Surface Regression: y3 versus A, B, C

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for y3

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.45664	0.15200	-3.004	0.030
A	-0.48031	0.09308	-5.160	0.004
B	-0.39678	0.09308	-4.263	0.008
C	-0.45943	0.09308	-4.936	0.004
A*A	0.88405	0.13701	6.452	0.001
B*B	-0.28540	0.13701	-2.083	0.092
C*C	0.25756	0.13701	1.880	0.119
A*B	-1.12769	0.13164	-8.567	0.000
A*C	-0.25060	0.13164	-1.904	0.115
B*C	-0.00000	0.13164	-0.000	1.000

S = 0.263271 PRESS = 3.75399

R-Sq = 97.52% R-Sq(pred) = 73.19% R-Sq(adj) = 93.07%

Analysis of Variance for y3

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	13.6534	13.6534	1.51705	21.89	0.002
Linear	3	4.7937	4.7937	1.59789	23.05	0.002
A	1	1.8456	1.8456	1.84559	26.63	0.004
B	1	1.2595	1.2595	1.25947	18.17	0.008
C	1	1.6886	1.6886	1.68860	24.36	0.004
Square	3	3.5219	3.5219	1.17395	16.94	0.005
A*A	1	2.9309	2.8857	2.88571	41.63	0.001
B*B	1	0.3460	0.3008	0.30076	4.34	0.092
C*C	1	0.2449	0.2449	0.24493	3.53	0.119
Interaction	3	5.3379	5.3379	1.77931	25.67	0.002
A*B	1	5.0867	5.0867	5.08672	73.39	0.000
A*C	1	0.2512	0.2512	0.25120	3.62	0.115
B*C	1	0.0000	0.0000	0.00000	0.00	1.000
Residual Error	5	0.3466	0.3466	0.06931		
Lack-of-Fit	3	0.2163	0.2163	0.07210	1.11	0.507
Pure Error	2	0.1302	0.1302	0.06512		
Total	14	14.0000				

Estimated Regression Coefficients for y3 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-0.456644
A	-0.480312
B	-0.396779
C	-0.459429
A*A	0.884052
B*B	-0.285403
C*C	0.257558
A*B	-1.12769
A*C	-0.250597
B*C	-4.52967E-16

LAMPIRAN 19. *Output Response Surface* Normalisasi Rata-rata Ketebalan Dinding s2

Response Surface Regression: y4 versus A, B, C

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for y4

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.91622	0.1806	5.073	0.004
A	-0.52375	0.1106	-4.736	0.005
B	-0.69135	0.1106	-6.251	0.002
C	-0.33520	0.1106	-3.031	0.029
A*A	-0.89387	0.1628	-5.491	0.003
B*B	-0.30727	0.1628	-1.888	0.118
C*C	-0.51677	0.1628	-3.174	0.025
A*B	0.41900	0.1564	2.679	0.044
A*C	-0.71230	0.1564	-4.554	0.006
B*C	-0.04190	0.1564	-0.268	0.799

S = 0.312804 PRESS = 6.02528

R-Sq = 96.51% R-Sq(pred) = 56.96% R-Sq(adj) = 90.22%

Analysis of Variance for y4

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	13.5108	13.5108	1.50120	15.34	0.004
Linear	3	6.9171	6.9171	2.30571	23.56	0.002
A	1	2.1945	2.1945	2.19452	22.43	0.005
B	1	3.8237	3.8237	3.82374	39.08	0.002
C	1	0.8989	0.8989	0.89888	9.19	0.029
Square	3	3.8549	3.8549	1.28496	13.13	0.008
A*A	1	2.6030	2.9502	2.95016	30.15	0.003
B*B	1	0.2658	0.3486	0.34860	3.56	0.118
C*C	1	0.9860	0.9860	0.98603	10.08	0.025
Interaction	3	2.7388	2.7388	0.91292	9.33	0.017
A*B	1	0.7022	0.7022	0.70225	7.18	0.044
A*C	1	2.0295	2.0295	2.02949	20.74	0.006
B*C	1	0.0070	0.0070	0.00702	0.07	0.799
Residual Error	5	0.4892	0.4892	0.09785		
Lack-of-Fit	3	0.3581	0.3581	0.11938	1.82	0.374
Pure Error	2	0.1311	0.1311	0.06554		
Total	14	14.0000				

Estimated Regression Coefficients for y4 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0.916215
A	-0.523751
B	-0.691352
C	-0.335201
A*A	-0.893869
B*B	-0.307267
C*C	-0.516768
A*B	0.419001
A*C	-0.712302
B*C	-0.0419001

LAMPIRAN 20. *Output Response Surface Normalisasi Rata-rata Ketebalan Dinding s3*

Response Surface Regression: y5 versus A, B, C

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for y5

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.56802	0.2236	-2.541	0.052
A	-0.48553	0.1369	-3.547	0.016
B	-0.57951	0.1369	-4.233	0.008
C	-0.62649	0.1369	-4.576	0.006
A*A	0.84577	0.2015	4.197	0.009
B*B	0.28192	0.2015	1.399	0.221
C*C	-0.06265	0.2015	-0.311	0.768
A*B	-0.37590	0.1936	-1.942	0.110
A*C	0.03132	0.1936	0.162	0.878
B*C	0.72047	0.1936	3.721	0.014

S = 0.387211 PRESS = 3.79149

R-Sq = 94.65% R-Sq(pred) = 72.92% R-Sq(adj) = 85.01%

Analysis of Variance for y5

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	13.2503	13.2503	1.47226	9.82	0.011
Linear	3	7.7125	7.7125	2.57084	17.15	0.005
A	1	1.8859	1.8859	1.88593	12.58	0.016
B	1	2.6866	2.6866	2.68662	17.92	0.008
C	1	3.1400	3.1400	3.13995	20.94	0.006
Square	3	2.8924	2.8924	0.96414	6.43	0.036
A*A	1	2.5725	2.6412	2.64118	17.62	0.009
B*B	1	0.3054	0.2935	0.29346	1.96	0.221
C*C	1	0.0145	0.0145	0.01449	0.10	0.768
Interaction	3	2.6454	2.6454	0.88180	5.88	0.043
A*B	1	0.5652	0.5652	0.56519	3.77	0.110
A*C	1	0.0039	0.0039	0.00392	0.03	0.878
B*C	1	2.0763	2.0763	2.07629	13.85	0.014
Residual Error	5	0.7497	0.7497	0.14993		
Lack-of-Fit	3	0.1531	0.1531	0.05102	0.17	0.908
Pure Error	2	0.5966	0.5966	0.29830		
Total	14	14.0000				

Estimated Regression Coefficients for y5 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-0.568021
A	-0.485532
B	-0.579506
C	-0.626493
A*A	0.845766
B*B	0.281922
C*C	-0.0626493
A*B	-0.375896
A*C	0.0313247
B*C	0.720467

LAMPIRAN 21. *Output Response Surface Normalisasi Rata-rata Ketebalan Dinding s4*

Response Surface Regression: y6 versus A, B, C						
The analysis was done using coded units.						
Estimated Regression Coefficients for y6						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	-1.2431	0.1731	-7.183	0.001		
A	-0.3067	0.1060	-2.894	0.034		
B	-0.3067	0.1060	-2.894	0.034		
C	-0.3505	0.1060	-3.307	0.021		
A*A	1.3553	0.1560	8.688	0.000		
B*B	0.7945	0.1560	5.093	0.004		
C*C	0.1811	0.1560	1.161	0.298		
A*B	-0.6309	0.1499	-4.210	0.008		
A*C	-0.1928	0.1499	-1.286	0.255		
B*C	-0.4381	0.1499	-2.923	0.033		
S = 0.299744 PRESS = 4.98046						
R-Sq = 96.79% R-Sq(pred) = 64.43% R-Sq(adj) = 91.02%						
Analysis of Variance for y6						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	13.5508	13.5508	1.50564	16.76	0.003
Linear	3	2.4878	2.4878	0.82926	9.23	0.018
A	1	0.7525	0.7525	0.75247	8.38	0.034
B	1	0.7525	0.7525	0.75247	8.38	0.034
C	1	0.9828	0.9828	0.98282	10.94	0.021
Square	3	8.5543	8.5543	2.85145	31.74	0.001
A*A	1	6.1703	6.7820	6.78199	75.48	0.000
B*B	1	2.2629	2.3306	2.33055	25.94	0.004
C*C	1	0.1211	0.1211	0.12109	1.35	0.298
Interaction	3	2.5087	2.5087	0.83622	9.31	0.017
A*B	1	1.5922	1.5922	1.59217	17.72	0.008
A*C	1	0.1487	0.1487	0.14865	1.65	0.255
B*C	1	0.7678	0.7678	0.76783	8.55	0.033
Residual Error	5	0.4492	0.4492	0.08985		
Lack-of-Fit	3	0.2887	0.2887	0.09623	1.20	0.485
Pure Error	2	0.1605	0.1605	0.08026		
Total	14	14.0000				
Estimated Regression Coefficients for y6 using data in uncoded units						
Term	Coef					
Constant	-1.24312					
A	-0.306691					
B	-0.306691					
C	-0.350504					
A*A	1.35528					
B*B	0.794476					
C*C	0.181094					
A*B	-0.630907					
A*C	-0.192777					
B*C	-0.438130					

LAMPIRAN 22. *Output Response Surface Normalisasi Rata-rata Ketebalan Dinding s6*

Response Surface Regression: y7 versus A, B, C

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for y7

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.6827	0.13852	-4.929	0.004
A	-0.2919	0.08483	-3.442	0.018
B	-0.3818	0.08483	-4.501	0.006
C	-0.7186	0.08483	-8.472	0.000
A*A	0.6213	0.12486	4.976	0.004
B*B	0.1722	0.12486	1.379	0.226
C*C	0.4866	0.12486	3.897	0.011
A*B	-1.0330	0.11996	-8.612	0.000
A*C	-0.5390	0.11996	-4.493	0.006
B*C	0.1797	0.11996	1.498	0.194

S = 0.239921 PRESS = 0.758531

R-Sq = 97.94% R-Sq(pred) = 94.58% R-Sq(adj) = 94.24%

Analysis of Variance for y7

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	13.7122	13.7122	1.52358	26.47	0.001
Linear	3	5.9795	5.9795	1.99316	34.63	0.001
A	1	0.6819	0.6819	0.68187	11.85	0.018
B	1	1.1660	1.1660	1.16604	20.26	0.006
C	1	4.1316	4.1316	4.13157	71.78	0.000
Square	3	2.1728	2.1728	0.72428	12.58	0.009
A*A	1	1.2312	1.4254	1.42540	24.76	0.004
B*B	1	0.0674	0.1095	0.10946	1.90	0.226
C*C	1	0.8742	0.8742	0.87419	15.19	0.011
Interaction	3	5.5599	5.5599	1.85329	32.20	0.001
A*B	1	4.2688	4.2688	4.26875	74.16	0.000
A*C	1	1.1620	1.1620	1.16200	20.19	0.006
B*C	1	0.1291	0.1291	0.12911	2.24	0.194
Residual Error	5	0.2878	0.2878	0.05756		
Lack-of-Fit	3	0.0081	0.0081	0.00269	0.02	0.995
Pure Error	2	0.2797	0.2797	0.13987		
Total	14	14.0000				

Estimated Regression Coefficients for y7 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-0.682710
A	-0.291948
B	-0.381779
C	-0.718642
A*A	0.621326
B*B	0.172175
C*C	0.486581
A*B	-1.03305
A*C	-0.538982
B*C	0.179661

LAMPIRAN 23. *Output Response Surface Normalisasi Standar Deviasi Bore Diameter*

Response Surface Regression: s1 versus A, B, C						
The analysis was done using coded units.						
Estimated Regression Coefficients for s1						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	-0.2828	0.4373	-0.647	0.546		
A	-0.3241	0.2678	-1.210	0.280		
B	-0.3306	0.2678	-1.235	0.272		
C	-0.1504	0.2678	-0.561	0.599		
A*A	-0.1100	0.3941	-0.279	0.791		
B*B	-0.1292	0.3941	-0.328	0.756		
C*C	0.7695	0.3941	1.952	0.108		
A*B	0.9768	0.3787	2.579	0.049		
A*C	-0.5208	0.3787	-1.375	0.227		
B*C	-0.6940	0.3787	-1.833	0.126		
S = 0.757364 PRESS = 41.2321						
R-Sq = 79.51% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 42.64%						
Analysis of Variance for s1						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	11.1320	11.1320	1.23689	2.16	0.206
Linear	3	1.8954	1.8954	0.63181	1.10	0.430
A	1	0.8401	0.8401	0.84008	1.46	0.280
B	1	0.8745	0.8745	0.87452	1.52	0.272
C	1	0.1808	0.1808	0.18084	0.32	0.599
Square	3	2.4086	2.4086	0.80286	1.40	0.346
A*A	1	0.0906	0.0447	0.04471	0.08	0.791
B*B	1	0.1318	0.0616	0.06164	0.11	0.756
C*C	1	2.1862	2.1862	2.18615	3.81	0.108
Interaction	3	6.8280	6.8280	2.27600	3.97	0.086
A*B	1	3.8165	3.8165	3.81650	6.65	0.049
A*C	1	1.0848	1.0848	1.08475	1.89	0.227
B*C	1	1.9267	1.9267	1.92674	3.36	0.126
Residual Error	5	2.8680	2.8680	0.57360		
Lack-of-Fit	3	2.5294	2.5294	0.84313	4.98	0.172
Pure Error	2	0.3386	0.3386	0.16931		
Total	14	14.0000				
Estimated Regression Coefficients for s1 using data in uncoded units						
Term	Coef					
Constant	-0.282785					
A	-0.324052					
B	-0.330628					
C	-0.150350					
A*A	-0.110042					
B*B	-0.129206					
C*C	0.769469					
A*B	0.976793					
A*C	-0.520757					
B*C	-0.694035					

LAMPIRAN 24. *Output Response Surface Normalisasi Standar Deviasi Netto*

Response Surface Regression: s2 versus A, B, C

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for s2

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.16906	0.5516	0.306	0.772
A	0.28265	0.3378	0.837	0.441
B	0.50669	0.3378	1.500	0.194
C	-0.45952	0.3378	-1.360	0.232
A*A	-0.41834	0.4972	-0.841	0.438
B*B	0.68184	0.4972	1.371	0.229
C*C	-0.58048	0.4972	-1.168	0.296
A*B	-0.02330	0.4777	-0.049	0.963
A*C	-0.47558	0.4777	-0.996	0.365
B*C	0.25825	0.4777	0.541	0.612

S = 0.955348 PRESS = 48.8465

R-Sq = 67.40% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 8.73%

Analysis of Variance for s2

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	9.4366	9.43656	1.04851	1.15	0.463
Linear	3	4.3822	4.38223	1.46074	1.60	0.301
A	1	0.6391	0.63913	0.63913	0.70	0.441
B	1	2.0538	2.05385	2.05385	2.25	0.194
C	1	1.6893	1.68925	1.68925	1.85	0.232
Square	3	3.8807	3.88066	1.29355	1.42	0.341
A*A	1	0.6762	0.64619	0.64619	0.71	0.438
B*B	1	1.9603	1.71656	1.71656	1.88	0.229
C*C	1	1.2441	1.24413	1.24413	1.36	0.296
Interaction	3	1.1737	1.17367	0.39122	0.43	0.742
A*B	1	0.0022	0.00217	0.00217	0.00	0.963
A*C	1	0.9047	0.90472	0.90472	0.99	0.365
B*C	1	0.2668	0.26678	0.26678	0.29	0.612
Residual Error	5	4.5634	4.56344	0.91269		
Lack-of-Fit	3	2.8057	2.80573	0.93524	1.06	0.518
Pure Error	2	1.7577	1.75772	0.87886		
Total	14	14.0000				

Estimated Regression Coefficients for s2 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0.169056
A	0.282650
B	0.506686
C	-0.459518
A*A	-0.418340
B*B	0.681837
C*C	-0.580477
A*B	-0.0233042
A*C	-0.475584
B*C	0.258252

LAMPIRAN 25. *Output Response Surface Normalisasi Standar Deviasi Ketebalan Dinding s1*

Response Surface Regression: s3 versus A, B, C

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for s3

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.31225	0.4239	0.737	0.494
A	0.61154	0.2596	2.356	0.065
B	0.00052	0.2596	0.002	0.998
C	0.06748	0.2596	0.260	0.805
A*A	-0.57140	0.3821	-1.496	0.195
B*B	0.21198	0.3821	0.555	0.603
C*C	-0.22604	0.3821	-0.592	0.580
A*B	1.24823	0.3671	3.401	0.019
A*C	0.29238	0.3671	0.797	0.462
B*C	0.16125	0.3671	0.439	0.679

S = 0.734135 PRESS = 39.9351
R-Sq = 80.75% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 46.10%

Analysis of Variance for s3

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	11.3052	11.3052	1.25614	2.33	0.182
Linear	3	3.0283	3.0283	1.00942	1.87	0.252
A	1	2.9918	2.9918	2.99183	5.55	0.065
B	1	0.0000	0.0000	0.00000	0.00	0.998
C	1	0.0364	0.0364	0.03643	0.07	0.805
Square	3	1.5987	1.5987	0.53291	0.99	0.469
A*A	1	1.2147	1.2056	1.20555	2.24	0.195
B*B	1	0.1954	0.1659	0.16592	0.31	0.603
C*C	1	0.1887	0.1887	0.18866	0.35	0.580
Interaction	3	6.6782	6.6782	2.22608	4.13	0.080
A*B	1	6.2323	6.2323	6.23229	11.56	0.019
A*C	1	0.3419	0.3419	0.34195	0.63	0.462
B*C	1	0.1040	0.1040	0.10400	0.19	0.679
Residual Error	5	2.6948	2.6948	0.53895		
Lack-of-Fit	3	2.4634	2.4634	0.82114	7.10	0.126
Pure Error	2	0.2314	0.2314	0.11568		
Total	14	14.0000				

Estimated Regression Coefficients for s3 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0.312248
A	0.611538
B	0.000518140
C	0.0674813
A*A	-0.571405
B*B	0.211980
C*C	-0.226040
A*B	1.24823
A*C	0.292381
B*C	0.161248

LAMPIRAN 26. *Output Response Surface Normalisasi Standar Deviasi Ketebalan Dinding s2*

Response Surface Regression: s4 versus A, B, C

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for s4

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.76187	0.2661	2.863	0.035
A	-0.53206	0.1629	-3.266	0.022
B	0.16783	0.1629	1.030	0.350
C	0.01480	0.1629	0.091	0.931
A*A	-0.87493	0.2398	-3.648	0.015
B*B	0.18114	0.2398	0.755	0.484
C*C	-0.73471	0.2398	-3.063	0.028
A*B	-0.08609	0.2304	-0.374	0.724
A*C	-0.87690	0.2304	-3.806	0.013
B*C	-0.79570	0.2304	-3.453	0.018

S = 0.460847 PRESS = 11.8774

R-Sq = 92.41% R-Sq(pred) = 15.16% R-Sq(adj) = 78.76%

Analysis of Variance for s4

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	12.9381	12.9381	1.43757	6.77	0.024
Linear	3	2.4918	2.4918	0.83060	3.91	0.088
A	1	2.2647	2.2647	2.26472	10.66	0.022
B	1	0.2253	0.2253	0.22534	1.06	0.350
C	1	0.0018	0.0018	0.00175	0.01	0.931
Square	3	4.8083	4.8083	1.60276	7.55	0.026
A*A	1	2.6054	2.8265	2.82648	13.31	0.015
B*B	1	0.2098	0.1211	0.12115	0.57	0.484
C*C	1	1.9931	1.9931	1.99311	9.38	0.028
Interaction	3	5.6380	5.6380	1.87933	8.85	0.019
A*B	1	0.0296	0.0296	0.02965	0.14	0.724
A*C	1	3.0758	3.0758	3.07581	14.48	0.013
B*C	1	2.5325	2.5325	2.53254	11.92	0.018
Residual Error	5	1.0619	1.0619	0.21238		
Lack-of-Fit	3	0.6900	0.6900	0.23001	1.24	0.476
Pure Error	2	0.3719	0.3719	0.18593		
Total	14	14.0000				

Estimated Regression Coefficients for s4 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0.761869
A	-0.532062
B	0.167831
C	0.0148042
A*A	-0.874932
B*B	0.181137
C*C	-0.734711
A*B	-0.0860906
A*C	-0.876899
B*C	-0.795698

LAMPIRAN 27. *Output Response Surface* Normalisasi Standar Deviasi Ketebalan Dinding s3

Response Surface Regression: s5 versus A, B, C

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for s5				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.31457	0.6882	0.457	0.667
A	-0.38359	0.4215	-0.910	0.404
B	0.26111	0.4215	0.620	0.563
C	0.28773	0.4215	0.683	0.525
A*A	0.40468	0.6204	0.652	0.543
B*B	-0.76735	0.6204	-1.237	0.271
C*C	-0.22715	0.6204	-0.366	0.729
A*B	-0.46882	0.5960	-0.787	0.467
A*C	-0.34676	0.5960	-0.582	0.586
B*C	-0.08040	0.5960	-0.135	0.898

S = 1.19207 PRESS = 19.6794

R-Sq = 49.25% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 0.00%

Analysis of Variance for s5

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	6.8948	6.89485	0.76609	0.54	0.802
Linear	3	2.3849	2.38488	0.79496	0.56	0.665
A	1	1.1771	1.17714	1.17714	0.83	0.404
B	1	0.5454	0.54542	0.54542	0.38	0.563
C	1	0.6623	0.66232	0.66232	0.47	0.525
Square	3	3.1240	3.12397	1.04132	0.73	0.576
A*A	1	0.8449	0.60467	0.60467	0.43	0.543
B*B	1	2.0886	2.17413	2.17413	1.53	0.271
C*C	1	0.1905	0.19051	0.19051	0.13	0.729
Interaction	3	1.3860	1.38599	0.46200	0.33	0.808
A*B	1	0.8792	0.87915	0.87915	0.62	0.467
A*C	1	0.4810	0.48098	0.48098	0.34	0.586
B*C	1	0.0259	0.02586	0.02586	0.02	0.898
Residual Error	5	7.1052	7.10515	1.42103		
Lack-of-Fit	3	0.2686	0.26857	0.08952	0.03	0.993
Pure Error	2	6.8366	6.83658	3.41829		
Total	14	14.0000				

Estimated Regression Coefficients for s5 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0.314570
A	-0.383592
B	0.261109
C	0.287732
A*A	0.404678
B*B	-0.767351
C*C	-0.227146
A*B	-0.468815
A*C	-0.346763
B*C	-0.0804028

LAMPIRAN 28. *Output Response Surface Normalisasi Standar Deviasi Ketebalan Dinding s4*

Response Surface Regression: s6 versus A, B, C

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for s6

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-1.11371	0.2617	-4.256	0.008
A	0.01742	0.1602	0.109	0.918
B	-0.15917	0.1602	-0.993	0.366
C	-0.37240	0.1602	-2.324	0.068
A*A	0.95515	0.2359	4.050	0.010
B*B	0.03803	0.2359	0.161	0.878
C*C	1.09501	0.2359	4.643	0.006
A*B	1.04262	0.2266	4.601	0.006
A*C	-0.05403	0.2266	-0.238	0.821
B*C	-0.05002	0.2266	-0.221	0.834

S = 0.453216 PRESS = 5.37023

R-Sq = 92.66% R-Sq(pred) = 61.64% R-Sq(adj) = 79.46%

Analysis of Variance for s6

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	12.9730	12.9730	1.44144	7.02	0.023
Linear	3	1.3146	1.3146	0.43819	2.13	0.215
A	1	0.0024	0.0024	0.00243	0.01	0.918
B	1	0.2027	0.2027	0.20268	0.99	0.366
C	1	1.1095	1.1095	1.10946	5.40	0.068
Square	3	7.2885	7.2885	2.42949	11.83	0.010
A*A	1	2.8533	3.3686	3.36856	16.40	0.010
B*B	1	0.0079	0.0053	0.00534	0.03	0.878
C*C	1	4.4273	4.4273	4.42729	21.55	0.006
Interaction	3	4.3699	4.3699	1.45665	7.09	0.030
A*B	1	4.3483	4.3483	4.34825	21.17	0.006
A*C	1	0.0117	0.0117	0.01168	0.06	0.821
B*C	1	0.0100	0.0100	0.01001	0.05	0.834
Residual Error	5	1.0270	1.0270	0.20540		
Lack-of-Fit	3	0.2225	0.2225	0.07417	0.18	0.899
Pure Error	2	0.8045	0.8045	0.40226		
Total	14	14.0000				

Estimated Regression Coefficients for s6 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-1.11371
A	0.0174224
B	-0.159170
C	-0.372401
A*A	0.955154
B*B	0.0380304
C*C	1.09501
A*B	1.04262
A*C	-0.0540256
B*C	-0.0500161

LAMPIRAN 29. *Output Response Surface* Normalisasi Standar Deviasi Ketebalan Dinding s6

Response Surface Regression: s7 versus A, B, C

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for s7

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.74221	0.4663	-1.592	0.172
A	-0.33234	0.2855	-1.164	0.297
B	-0.02481	0.2855	-0.087	0.934
C	-0.45570	0.2855	-1.596	0.171
A*A	0.94410	0.4203	2.246	0.075
B*B	-0.12795	0.4203	-0.304	0.773
C*C	0.57548	0.4203	1.369	0.229
A*B	-0.18041	0.4038	-0.447	0.674
A*C	-0.72427	0.4038	-1.794	0.133
B*C	-0.61679	0.4038	-1.527	0.187

S = 0.807576 PRESS = 49.1122

R-Sq = 76.71% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 34.78%

Analysis of Variance for s7

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	10.7391	10.7391	1.19323	1.83	0.262
Linear	3	2.5498	2.5498	0.84995	1.30	0.370
A	1	0.8836	0.8836	0.88361	1.35	0.297
B	1	0.0049	0.0049	0.00492	0.01	0.934
C	1	1.6613	1.6613	1.66131	2.55	0.171
Square	3	4.4391	4.4391	1.47970	2.27	0.198
A*A	1	3.1061	3.2911	3.29107	5.05	0.075
B*B	1	0.1102	0.0604	0.06045	0.09	0.773
C*C	1	1.2228	1.2228	1.22282	1.87	0.229
Interaction	3	3.7502	3.7502	1.25006	1.92	0.245
A*B	1	0.1302	0.1302	0.13019	0.20	0.674
A*C	1	2.0983	2.0983	2.09828	3.22	0.133
B*C	1	1.5217	1.5217	1.52170	2.33	0.187
Residual Error	5	3.2609	3.2609	0.65218		
Lack-of-Fit	3	3.0382	3.0382	1.01273	9.10	0.101
Pure Error	2	0.2227	0.2227	0.11135		
Total	14	14.0000				

Estimated Regression Coefficients for s7 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-0.742207
A	-0.332343
B	-0.0248094
C	-0.455701
A*A	0.944104
B*B	-0.127949
C*C	0.575483
A*B	-0.180412
A*C	-0.724272
B*C	-0.616785

LAMPIRAN 30. *Output Response Surface Komponen Utama 1 (PC₁)*

Response Surface Regression: w1 versus A, B, C

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for w1

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-1.6132	0.2888	-5.585	0.003
A	-1.3624	0.1769	-7.703	0.001
B	-1.0987	0.1769	-6.212	0.002
C	-1.2045	0.1769	-6.810	0.001
A*A	2.1856	0.2603	8.395	0.000
B*B	-0.1750	0.2603	-0.672	0.531
C*C	1.0141	0.2603	3.895	0.011
A*B	-1.4056	0.2501	-5.619	0.002
A*C	-0.8638	0.2501	-3.454	0.018
B*C	-0.4429	0.2501	-1.771	0.137

S = 0.500260 PRESS = 9.81758

R-Sq = 98.21% R-Sq(pred) = 85.96% R-Sq(adj) = 94.99%

Analysis of Variance for w1

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	68.6890	68.6890	7.6321	30.50	0.001
Linear	3	36.1125	36.1125	12.0375	48.10	0.000
A	1	14.8491	14.8491	14.8491	59.33	0.001
B	1	9.6574	9.6574	9.6574	38.59	0.002
C	1	11.6059	11.6059	11.6059	46.38	0.001
Square	3	20.9044	20.9044	6.9681	27.84	0.002
A*A	1	16.8692	17.6380	17.6380	70.48	0.000
B*B	1	0.2377	0.1131	0.1131	0.45	0.531
C*C	1	3.7975	3.7975	3.7975	15.17	0.011
Interaction	3	11.6721	11.6721	3.8907	15.55	0.006
A*B	1	7.9025	7.9025	7.9025	31.58	0.002
A*C	1	2.9849	2.9849	2.9849	11.93	0.018
B*C	1	0.7847	0.7847	0.7847	3.14	0.137
Residual Error	5	1.2513	1.2513	0.2503		
Lack-of-Fit	3	0.5092	0.5092	0.1697	0.46	0.740
Pure Error	2	0.7421	0.7421	0.3710		
Total	14	69.9403				

Estimated Regression Coefficients for w1 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-1.61322
A	-1.36240
B	-1.09872
C	-1.20447
A*A	2.18562
B*B	-0.174982
C*C	1.01414
A*B	-1.40557
A*C	-0.863849
B*C	-0.442926

LAMPIRAN 31. *Output Response Surface Komponen Utama 2 (PC₂)*

Response Surface Regression: w2 versus A, B, C						
The analysis was done using coded units.						
Estimated Regression Coefficients for w2						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	-1.0464	0.2625	-3.986	0.010		
A	0.5845	0.1608	3.636	0.015		
B	0.6845	0.1608	4.258	0.008		
C	0.3758	0.1608	2.338	0.067		
A*A	1.3716	0.2366	5.796	0.002		
B*B	0.7390	0.2366	3.123	0.026		
C*C	-0.1485	0.2366	-0.627	0.558		
A*B	-1.8362	0.2274	-8.077	0.000		
A*C	0.7153	0.2274	3.146	0.025		
B*C	0.3233	0.2274	1.422	0.214		
S = 0.454700 PRESS = 12.4542						
R-Sq = 96.90% R-Sq(pred) = 62.68% R-Sq(adj) = 91.33%						
Analysis of Variance for w2						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	32.3339	32.3339	3.5927	17.38	0.003
Linear	3	7.6117	7.6117	2.5372	12.27	0.010
A	1	2.7330	2.7330	2.7330	13.22	0.015
B	1	3.7488	3.7488	3.7488	18.13	0.008
C	1	1.1299	1.1299	1.1299	5.47	0.067
Square	3	8.7706	8.7706	2.9235	14.14	0.007
A*A	1	6.5978	6.9459	6.9459	33.60	0.002
B*B	1	2.0914	2.0163	2.0163	9.75	0.026
C*C	1	0.0814	0.0814	0.0814	0.39	0.558
Interaction	3	15.9516	15.9516	5.3172	25.72	0.002
A*B	1	13.4866	13.4866	13.4866	65.23	0.000
A*C	1	2.0468	2.0468	2.0468	9.90	0.025
B*C	1	0.4182	0.4182	0.4182	2.02	0.214
Residual Error	5	1.0338	1.0338	0.2068		
Lack-of-Fit	3	0.7366	0.7366	0.2455	1.65	0.399
Pure Error	2	0.2972	0.2972	0.1486		
Total	14	33.3677				
Estimated Regression Coefficients for w2 using data in uncoded units						
Term	Coef					
Constant	-1.04642					
A	0.584487					
B	0.684541					
C	0.375818					
A*A	1.37156					
B*B	0.738965					
C*C	-0.148485					
A*B	-1.83620					
A*C	0.715340					
B*C	0.323340					

LAMPIRAN 32. *Output Response Surface Komponen Utama 3 (PC₃)*

Response Surface Regression: w3 versus A, B, C

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for w3

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1.58050	0.2453	6.444	0.001
A	-0.55716	0.1502	-3.710	0.014
B	0.15253	0.1502	1.016	0.356
C	-0.12063	0.1502	-0.803	0.458
A*A	-1.32268	0.2211	-5.983	0.002
B*B	-0.11335	0.2211	-0.513	0.630
C*C	-1.52740	0.2211	-6.909	0.001
A*B	-1.20585	0.2124	-5.677	0.002
A*C	-0.89250	0.2124	-4.202	0.008
B*C	0.04689	0.2124	0.221	0.834

S = 0.424798 PRESS = 7.46810

R-Sq = 96.63% R-Sq(pred) = 72.07% R-Sq(adj) = 90.55%

Analysis of Variance for w3

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	25.8366	25.8366	2.87073	15.91	0.004
Linear	3	2.7860	2.7860	0.92867	5.15	0.055
A	1	2.4835	2.4835	2.48346	13.76	0.014
B	1	0.1861	0.1861	0.18613	1.03	0.356
C	1	0.1164	0.1164	0.11641	0.65	0.458
Square	3	14.0393	14.0393	4.67976	25.93	0.002
A*A	1	5.4253	6.4596	6.45964	35.80	0.002
B*B	1	0.0001	0.0474	0.04744	0.26	0.630
C*C	1	8.6139	8.6139	8.61394	47.74	0.001
Interaction	3	9.0113	9.0113	3.00376	16.65	0.005
A*B	1	5.8163	5.8163	5.81628	32.23	0.002
A*C	1	3.1862	3.1862	3.18622	17.66	0.008
B*C	1	0.0088	0.0088	0.00879	0.05	0.834
Residual Error	5	0.9023	0.9023	0.18045		
Lack-of-Fit	3	0.3955	0.3955	0.13183	0.52	0.710
Pure Error	2	0.5068	0.5068	0.25339		
Total	14	26.7388				

Estimated Regression Coefficients for w3 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	1.58050
A	-0.557165
B	0.152533
C	-0.120627
A*A	-1.32268
B*B	-0.113350
C*C	-1.52740
A*B	-1.20585
A*C	-0.892499
B*C	0.0468908

LAMPIRAN 33. *Output Response Surface Komponen Utama 4 (PC₄)*

Response Surface Regression: w4 versus A, B, C

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for w4

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.1443	0.5590	0.258	0.807
A	-0.3185	0.3423	-0.931	0.395
B	0.3641	0.3423	1.064	0.336
C	0.8855	0.3423	2.587	0.049
A*A	0.1151	0.5038	0.228	0.828
B*B	-0.5148	0.5038	-1.022	0.354
C*C	0.1293	0.5038	0.257	0.808
A*B	-0.1663	0.4841	-0.344	0.745
A*C	-0.1994	0.4841	-0.412	0.698
B*C	-1.2496	0.4841	-2.581	0.049

S = 0.968149 PRESS = 37.0551

R-Sq = 77.15% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 36.01%

Analysis of Variance for w4

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	15.8215	15.8215	1.75795	1.88	0.253
Linear	3	8.1450	8.1450	2.71500	2.90	0.141
A	1	0.8118	0.8118	0.81179	0.87	0.395
B	1	1.0607	1.0607	1.06071	1.13	0.336
C	1	6.2725	6.2725	6.27251	6.69	0.049
Square	3	1.1605	1.1605	0.38684	0.41	0.751
A*A	1	0.0759	0.0489	0.04889	0.05	0.828
B*B	1	1.0229	0.9787	0.97869	1.04	0.354
C*C	1	0.0617	0.0617	0.06168	0.07	0.808
Interaction	3	6.5160	6.5160	2.17199	2.32	0.193
A*B	1	0.1107	0.1107	0.11067	0.12	0.745
A*C	1	0.1590	0.1590	0.15899	0.17	0.698
B*C	1	6.2463	6.2463	6.24632	6.66	0.049
Residual Error	5	4.6866	4.6866	0.93731		
Lack-of-Fit	3	1.9280	1.9280	0.64268	0.47	0.736
Pure Error	2	2.7585	2.7585	1.37927		
Total	14	20.5081				

Estimated Regression Coefficients for w4 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0.144279
A	-0.318549
B	0.364128
C	0.885474
A*A	0.115065
B*B	-0.514841
C*C	0.129252
A*B	-0.166336
A*C	-0.199367
B*C	-1.24963

LAMPIRAN 34. *Output Response Surface Komponen Utama 5 (PC₅)*

Response Surface Regression: w5 versus A, B, C

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for w5

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.7199	0.4375	1.645	0.161
A	-0.2072	0.2679	-0.773	0.474
B	-0.4084	0.2679	-1.524	0.188
C	0.3305	0.2679	1.233	0.272
A*A	-0.1811	0.3944	-0.459	0.665
B*B	-0.9286	0.3944	-2.355	0.065
C*C	-0.2401	0.3944	-0.609	0.569
A*B	-0.3747	0.3789	-0.989	0.368
A*C	0.8081	0.3789	2.133	0.086
B*C	0.9591	0.3789	2.531	0.052

S = 0.757826 PRESS = 27.8270

R-Sq = 81.59% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 48.46%

Analysis of Variance for w5

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	12.7295	12.7295	1.4144	2.46	0.167
Linear	3	2.5513	2.5513	0.8504	1.48	0.326
A	1	0.3434	0.3434	0.3434	0.60	0.474
B	1	1.3343	1.3343	1.3343	2.32	0.188
C	1	0.8736	0.8736	0.8736	1.52	0.272
Square	3	3.3254	3.3254	1.1085	1.93	0.243
A*A	1	0.0356	0.1211	0.1211	0.21	0.665
B*B	1	3.0770	3.1842	3.1842	5.54	0.065
C*C	1	0.2128	0.2128	0.2128	0.37	0.569
Interaction	3	6.8529	6.8529	2.2843	3.98	0.086
A*B	1	0.5616	0.5616	0.5616	0.98	0.368
A*C	1	2.6121	2.6121	2.6121	4.55	0.086
B*C	1	3.6792	3.6792	3.6792	6.41	0.052
Residual Error	5	2.8715	2.8715	0.5743		
Lack-of-Fit	3	1.5539	1.5539	0.5180	0.79	0.602
Pure Error	2	1.3176	1.3176	0.6588		
Total	14	15.6010				

Estimated Regression Coefficients for w5 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0.719906
A	-0.207178
B	-0.408392
C	0.330460
A*A	-0.181102
B*B	-0.928645
C*C	-0.240078
A*B	-0.374703
A*C	0.808093
B*C	0.959060

**LAMPIRAN 35. *Output* Pengujian Asumsi Distribusi Normal
Residual Normalisasi Rata-rata Respon**

		Bore Diameter	Netto	Ketebalan Dinding s1	Ketebalan Dinding s2
N		15	15	15	15
Normal	Mean	.0000	.0000	.0000	.0000
Parameters ^a	Std. Deviation	.24064	.20410	.15733	.18694
Most Extreme	Absolute	.064	.084	.105	.177
Differences	Positive	.064	.084	.102	.177
	Negative	-.064	-.084	-.105	-.177
Kolmogorov-Smirnov Z		.249	.325	.407	.685
Asymp. Sig. (2-tailed)		1.000	1.000	.996	.737

		Ketebalan Dinding s3	Ketebalan Dinding s2	Ketebalan Dinding s2
N		15	15	15
Normal	Mean	.0000	.0000	.0000
Parameters ^a	Std. Deviation	.23140	.17913	.14338
Most Extreme	Absolute	.142	.098	.310
Differences	Positive	.142	.098	.244
	Negative	-.075	-.098	-.310
Kolmogorov-Smirnov Z		.549	.381	1.202
Asymp. Sig. (2-tailed)		.924	.999	.111

LAMPIRAN 36. Output Pengujian Asumsi Distribusi Normal
Residual Normalisasi Standar Deviasi
Respon

		Bore Diameter	Netto	Ketebalan Dinding s1	Ketebalan Dinding s2
N		15	15	15	15
Normal	Mean	.0000	.0000	.0000	.0000
Parameters ^a	Std. Deviation	.45261	.57093	.43873	.27541
Most Extreme	Absolute	.109	.149	.114	.205
Differences	Positive	.109	.149	.114	.205
	Negative	-.094	-.083	-.114	-.157
Kolmogorov-Smirnov Z		.424	.578	.441	.793
Asymp. Sig. (2-tailed)		.994	.892	.990	.555

		Ketebalan Dinding s3	Ketebalan Dinding s4	Ketebalan Dinding s6
N		15	15	15
Normal	Mean	.0000	.0000	.0000
Parameters ^a	Std. Deviation	.71240	.27085	.48262
Most Extreme	Absolute	.303	.174	.186
Differences	Positive	.303	.107	.145
	Negative	-.236	-.174	-.186
Kolmogorov-Smirnov Z		1.174	.672	.720
Asymp. Sig. (2-tailed)		.127	.757	.677

**LAMPIRAN 37. *Output* Pengujian Asumsi Distribusi Normal
Residual Komponen Utama (PC)**

		PC1	PC2	PC3	PC4
N		15	15	15	15
Normal	Mean	.0000	.0000	.0000	.0000
Parameters ^a	Std. Deviation	.29896	.27174	.25387	.57858
Most Extreme	Absolute	.105	.099	.150	.159
Differences	Positive	.105	.099	.148	.159
	Negative	-.088	-.088	-.150	-.093
Kolmogorov-Smirnov Z		.408	.382	.581	.617
Asymp. Sig. (2-tailed)		.996	.999	.888	.841

		PC5
N		15
Normal	Mean	.0000
Parameters ^a	Std. Deviation	.45289
Most Extreme	Absolute	.148
Differences	Positive	.098
	Negative	-.148
Kolmogorov-Smirnov Z		.575
Asymp. Sig. (2-tailed)		.895

LAMPIRAN 38. *Output Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Rata-rata Bore Diameter*

➤ Identik

Regression Analysis: abs res1 versus A, B, C

The regression equation is

$$\text{abs res1} = 0.185 - 0.0000 \text{ A} - 0.0000 \text{ B} - 0.0000 \text{ C}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.18489	0.04249	4.35	0.001
A	-0.00000	0.05819	-0.00	1.000
B	-0.00000	0.05819	-0.00	1.000
C	-0.00000	0.05819	-0.00	1.000

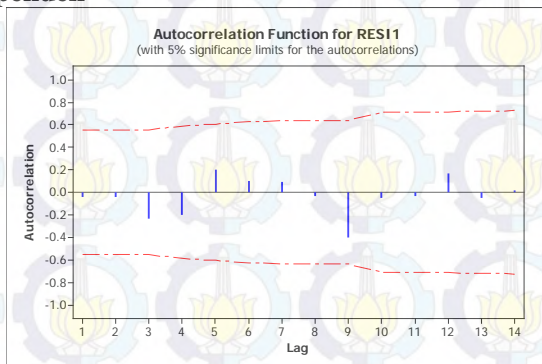
S = 0.164576 R-Sq = 0.0% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.00000	0.00000	0.00	1.000
Residual Error	11	0.29794	0.02709		
Total	14	0.29794			

Source	DF	Seq SS
A	1	0.00000
B	1	0.00000
C	1	0.00000

➤ Independen



LAMPIRAN 39. *Output Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Rata-rata Netto*

➤ Identik

Regression Analysis: abs res2 versus A, B, C

The regression equation is

$$\text{abs res2} = 0.168 - 0.0000 \text{ A} - 0.0000 \text{ B} + 0.0000 \text{ C}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.16798	0.03113	5.40	0.000
A	-0.00000	0.04263	-0.00	1.000
B	-0.00000	0.04263	-0.00	1.000
C	0.00000	0.04263	0.00	1.000

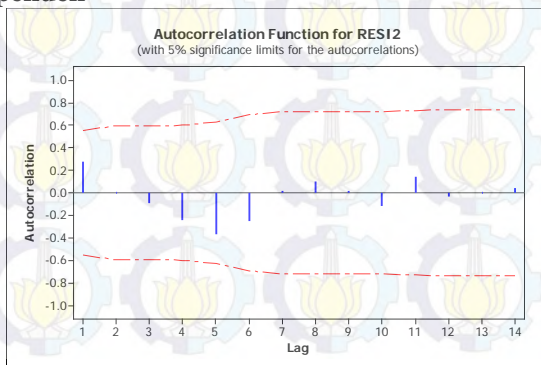
S = 0.120577 R-Sq = 0.0% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.00000	0.00000	0.00	1.000
Residual Error	11	0.15993	0.01454		
Total	14	0.15993			

Source	DF	Seq SS
A	1	0.00000
B	1	0.00000
C	1	0.00000

➤ Independen



LAMPIRAN 40. *Output Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Rata-rata Ketebalan Dinding s1*

➤ Identik

Regression Analysis: abs res3 versus A, B, C

The regression equation is

$$\text{abs res3} = 0.132 - 0.0000 \text{ A} - 0.0000 \text{ B} - 0.0000 \text{ C}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.13180	0.02283	5.77	0.000
A	-0.00000	0.03126	-0.00	1.000
B	-0.00000	0.03126	-0.00	1.000
C	-0.00000	0.03126	-0.00	1.000

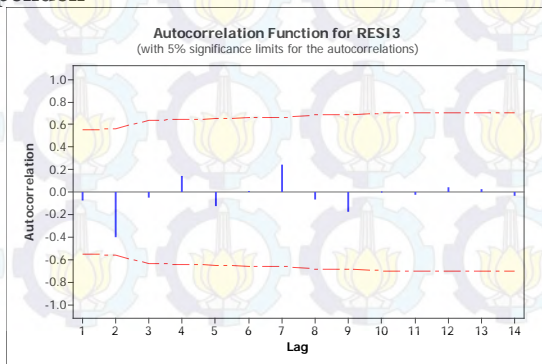
S = 0.0884237 R-Sq = 0.0% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.000000	0.000000	0.00	1.000
Residual Error	11	0.086006	0.007819		
Total	14	0.086006			

Source	DF	Seq SS
A	1	0.000000
B	1	0.000000
C	1	0.000000

➤ Independen



LAMPIRAN 41. *Output Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Rata-rata Ketebalan Dinding s2*

➤ Identik

Regression Analysis: abs res4 versus A, B, C

The regression equation is

$$\text{abs res4} = 0.155 + 0.0000 A + 0.0000 B - 0.0000 C$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.15456	0.02816	5.49	0.000
A	0.00000	0.03856	0.00	1.000
B	0.00000	0.03856	0.00	1.000
C	-0.00000	0.03856	-0.00	1.000

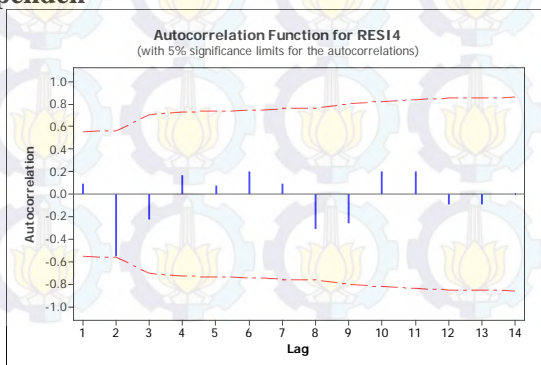
S = 0.109078 R-Sq = 0.0% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.00000	0.00000	0.00	1.000
Residual Error	11	0.13088	0.01190		
Total	14	0.13088			

Source	DF	Seq SS
A	1	0.00000
B	1	0.00000
C	1	0.00000

➤ Independen



LAMPIRAN 42. *Output* Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Rata-rata Ketebalan Dinding s3

➤ Identik

Regression Analysis: abs res5 versus A, B, C

The regression equation is

$$\text{abs res5} = 0.163 + 0.0000 \text{ A} - 0.0000 \text{ B} - 0.0000 \text{ C}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.16289	0.04617	3.53	0.005
A	0.00000	0.06322	0.00	1.000
B	-0.00000	0.06322	-0.00	1.000
C	-0.00000	0.06322	-0.00	1.000

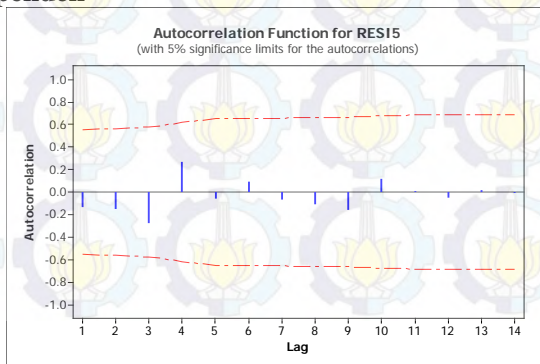
S = 0.178803 R-Sq = 0.0% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.00000	0.00000	0.00	1.000
Residual Error	11	0.35167	0.03197		
Total	14	0.35167			

Source	DF	Seq SS
A	1	0.00000
B	1	0.00000
C	1	0.00000

➤ Independen



LAMPIRAN 43. *Output Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Rata-rata Ketebalan Dinding s4*

➤ Identik

Regression Analysis: abs res6 versus A, B, C

The regression equation is

$$\text{abs res6} = 0.143 + 0.0000 \text{ A} + 0.0000 \text{ B} - 0.0000 \text{ C}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.14332	0.02925	4.90	0.000
A	0.00000	0.04005	0.00	1.000
B	0.00000	0.04005	0.00	1.000
C	-0.00000	0.04005	-0.00	1.000

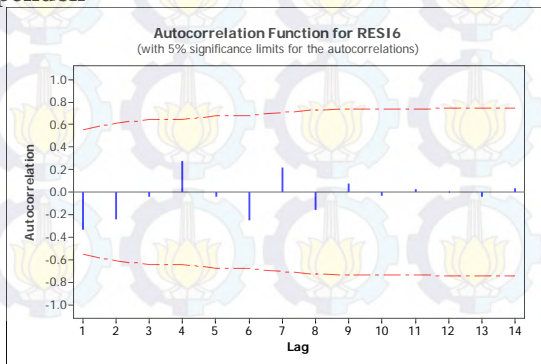
S = 0.113272 R-Sq = 0.0% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.00000	0.00000	0.00	1.000
Residual Error	11	0.14114	0.01283		
Total	14	0.14114			

Source	DF	Seq SS
A	1	0.00000
B	1	0.00000
C	1	0.00000

➤ Independen



LAMPIRAN 44. *Output* Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Rata-rata Ketebalan Dinding s6

➤ Identik

Regression Analysis: abs res7 versus A, B, C

The regression equation is

$$\text{abs res7} = 0.0739 + 0.0000 \text{ A} + 0.0000 \text{ B} + 0.0000 \text{ C}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.07386	0.03533	2.09	0.061
A	0.00000	0.04838	0.00	1.000
B	0.00000	0.04838	0.00	1.000
C	0.00000	0.04838	0.00	1.000

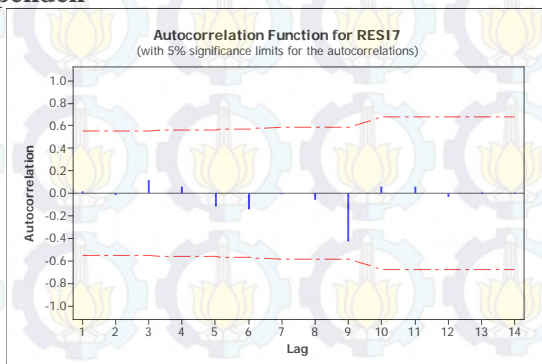
S = 0.136841 R-Sq = 0.0% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.00000	0.00000	0.00	1.000
Residual Error	11	0.20598	0.01873		
Total	14	0.20598			

Source	DF	Seq SS
A	1	0.00000
B	1	0.00000
C	1	0.00000

➤ Independen



LAMPIRAN 45. *Output Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Sandar Deviasi Bore Diameter*

➤ Identik

Regression Analysis: abs res8 versus A, B, C

The regression equation is

$$\text{abs res8} = 0.358 - 0.000 \text{ A} - 0.000 \text{ B} - 0.000 \text{ C}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.35811	0.07565	4.73	0.001
A	-0.0000	0.1036	-0.00	1.000
B	-0.0000	0.1036	-0.00	1.000
C	-0.0000	0.1036	-0.00	1.000

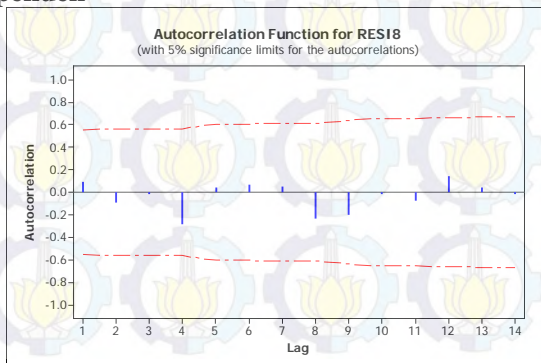
S = 0.292996 R-Sq = 0.0% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.00000	0.00000	0.00	1.000
Residual Error	11	0.94431	0.08585		
Total	14	0.94431			

Source	DF	Seq SS
A	1	0.00000
B	1	0.00000
C	1	0.00000

➤ Independen



LAMPIRAN 46. *Output Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Standar Deviasi Netto*

➤ Identik

Regression Analysis: abs res9 versus A, B, C

The regression equation is
 $\text{abs res9} = 0.487 + 0.000 \text{ A} - 0.000 \text{ B} - 0.000 \text{ C}$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.48733	0.07789	6.26	0.000
A	0.0000	0.1067	0.00	1.000
B	-0.0000	0.1067	-0.00	1.000
C	-0.0000	0.1067	-0.00	1.000

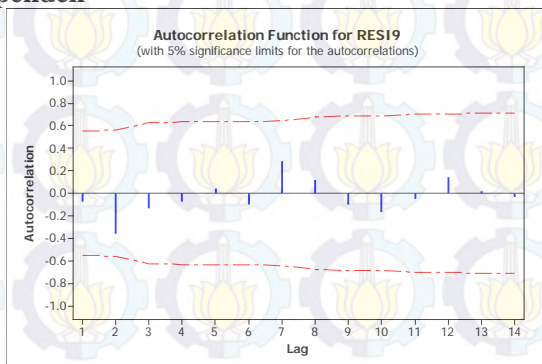
S = 0.301681 R-Sq = 0.0% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.00000	0.00000	0.00	1.000
Residual Error	11	1.00112	0.09101		
Total	14	1.00112			

Source	DF	Seq SS
A	1	0.00000
B	1	0.00000
C	1	0.00000

➤ Independen



LAMPIRAN 47. *Output Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Standar Deviasi Ketebalan Dinding s1*

➤ Identik

Regression Analysis: abs res10 versus A, B, C

The regression equation is

$$\text{abs res10} = 0.357 + 0.0000 \text{ A} - 0.0000 \text{ B} + 0.0000 \text{ C}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.35667	0.06904	5.17	0.000
A	0.00000	0.09454	0.00	1.000
B	-0.00000	0.09454	-0.00	1.000
C	0.00000	0.09454	0.00	1.000

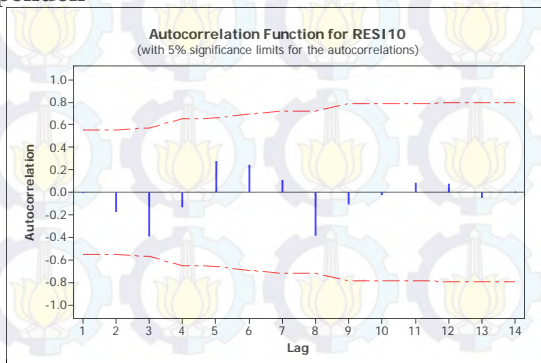
S = 0.267400 R-Sq = 0.0% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.00000	0.00000	0.00	1.000
Residual Error	11	0.78653	0.07150		
Total	14	0.78653			

Source	DF	Seq SS
A	1	0.00000
B	1	0.00000
C	1	0.00000

➤ Independen



LAMPIRAN 48. *Output* Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Standar Deviasi Ketebalan Dinding s2

➤ Identik

Regression Analysis: abs res11 versus A, B, C

The regression equation is

$$\text{abs res11} = 0.231 + 0.0000 \text{ A} - 0.0000 \text{ B} - 0.0000 \text{ C}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.23104	0.03979	5.81	0.000
A	0.00000	0.05448	0.00	1.000
B	-0.00000	0.05448	-0.00	1.000
C	-0.00000	0.05448	-0.00	1.000

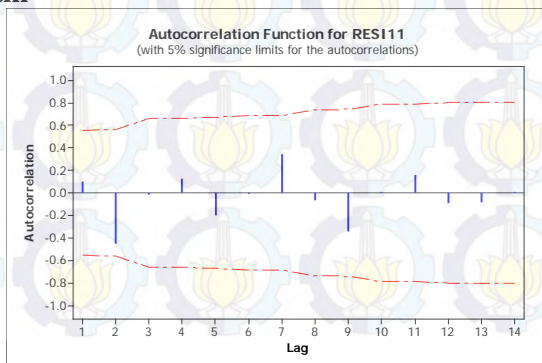
S = 0.154098 R-Sq = 0.0% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.00000	0.00000	0.00	1.000
Residual Error	11	0.26121	0.02375		
Total	14	0.26121			

Source	DF	Seq SS
A	1	0.00000
B	1	0.00000
C	1	0.00000

➤ Identik



LAMPIRAN 49. Output Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Standar Deviasi Ketebalan Dinding s3

➤ **Identik**

Regression Analysis: abs res12 versus A, B, C

The regression equation is
abs res12 = 0.388 - 0.000 A + 0.000 B + 0.000 C

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.3879	0.1714	2.26	0.045
A	-0.0000	0.2347	-0.00	1.000
B	0.0000	0.2347	0.00	1.000
C	0.0000	0.2347	0.00	1.000

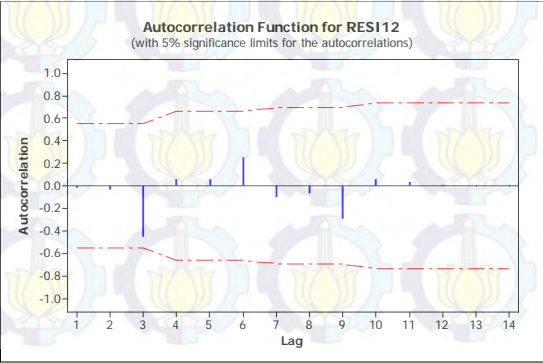
S = 0.663880 R-Sq = 0.0% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.0000	0.0000	0.00	1.000
Residual Error	11	4.8481	0.4407		
Total	14	4.8481			

Source	DF	Seq SS
A	1	0.0000
B	1	0.0000
C	1	0.0000

➤ **Identik**



LAMPIRAN 50. *Output* Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Standar Deviasi Ketebalan Dinding s4

➤ Identik

Regression Analysis: abs res13 versus A, B, C

The regression equation is

$$\text{abs res13} = 0.184 + 0.0000 \text{ A} + 0.0000 \text{ B} + 0.0000 \text{ C}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.18417	0.05604	3.29	0.007
A	0.00000	0.07674	0.00	1.000
B	0.00000	0.07674	0.00	1.000
C	0.00000	0.07674	0.00	1.000

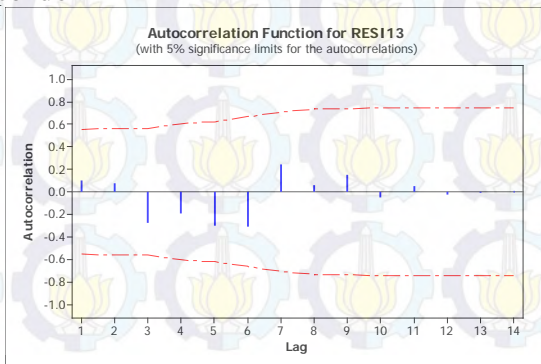
S = 0.217054 R-Sq = 0.0% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.00000	0.00000	0.00	1.000
Residual Error	11	0.51823	0.04711		
Total	14	0.51823			

Source	DF	Seq SS
A	1	0.00000
B	1	0.00000
C	1	0.00000

➤ Independen



LAMPIRAN 51. *Output Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual Normalisasi Standar Deviasi Ketebalan Dinding s6*

➤ Identik

Regression Analysis: abs res14 versus A, B, C

The regression equation is

$$\text{abs res14} = 0.400 + 0.0000 \text{ A} - 0.0000 \text{ B} - 0.0000 \text{ C}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.39980	0.07233	5.53	0.000
A	0.00000	0.09905	0.00	1.000
B	-0.00000	0.09905	-0.00	1.000
C	-0.00000	0.09905	-0.00	1.000

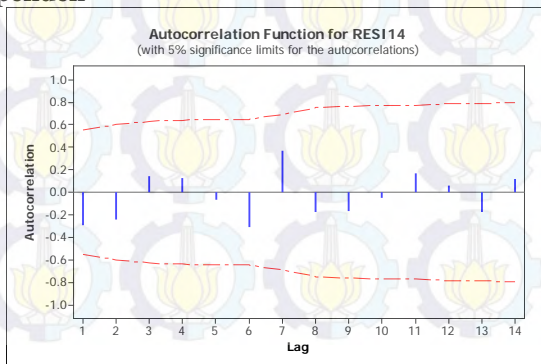
S = 0.280147 R-Sq = 0.0% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.00000	0.00000	0.00	1.000
Residual Error	11	0.86331	0.07848		
Total	14	0.86331			

Source	DF	Seq SS
A	1	0.00000
B	1	0.00000
C	1	0.00000

➤ Independen



LAMPIRAN 52. *Output* Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual PC1

➤ Identik

Regression Analysis: abs res15 versus A, B, C

The regression equation is

$$\text{abs res15} = 0.231 + 0.0000 \text{ A} - 0.0000 \text{ B} - 0.0000 \text{ C}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.23117	0.05220	4.43	0.001
A	0.00000	0.07148	0.00	1.000
B	-0.00000	0.07148	-0.00	1.000
C	-0.00000	0.07148	-0.00	1.000

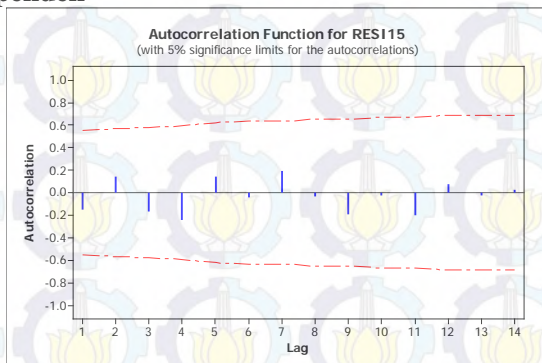
S = 0.202188 R-Sq = 0.0% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.00000	0.00000	0.00	1.000
Residual Error	11	0.44968	0.04088		
Total	14	0.44968			

Source	DF	Seq SS
A	1	0.00000
B	1	0.00000
C	1	0.00000

➤ Independen



LAMPIRAN 53. *Output* Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual PC2

➤ Identik

Regression Analysis: abs res16 versus A, B, C

The regression equation is

$$\text{abs res16} = 0.226 + 0.0000 \text{ A} - 0.0000 \text{ B} - 0.0000 \text{ C}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.22616	0.04019	5.63	0.000
A	0.00000	0.05503	0.00	1.000
B	-0.00000	0.05503	-0.00	1.000
C	-0.00000	0.05503	-0.00	1.000

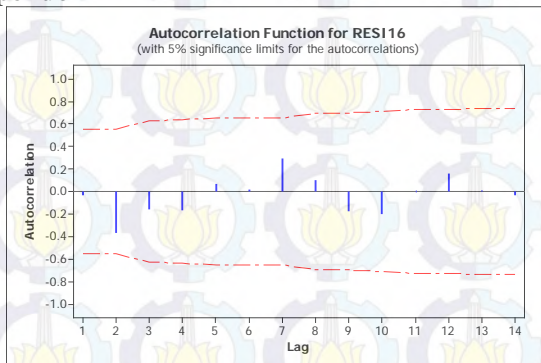
S = 0.155655 R-Sq = 0.0% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.00000	0.00000	0.00	1.000
Residual Error	11	0.26651	0.02423		
Total	14	0.26651			

Source	DF	Seq SS
A	1	0.00000
B	1	0.00000
C	1	0.00000

➤ Independen



LAMPIRAN 54. *Output* Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual PC3

➤ Identik

Regression Analysis: abs res17 versus A, B, C

The regression equation is

$$\text{abs res17} = 0.186 - 0.0000 \text{ A} + 0.0000 \text{ B} + 0.0000 \text{ C}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.18570	0.04830	3.84	0.003
A	-0.00000	0.06614	-0.00	1.000
B	0.00000	0.06614	0.00	1.000
C	0.00000	0.06614	0.00	1.000

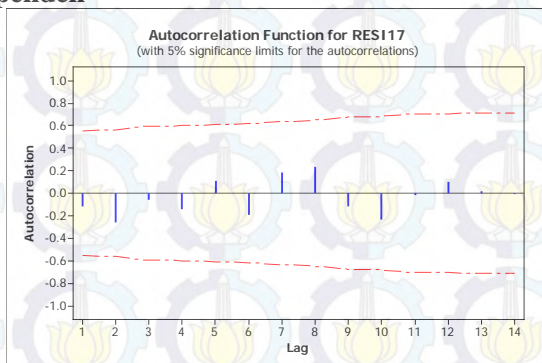
S = 0.187083 R-Sq = 0.0% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.00000	0.00000	0.00	1.000
Residual Error	11	0.38500	0.03500		
Total	14	0.38500			

Source	DF	Seq SS
A	1	0.00000
B	1	0.00000
C	1	0.00000

➤ Independen



LAMPIRAN 55. *Output* Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual PC4

➤ Identik

Regression Analysis: abs res18 versus A, B, C

The regression equation is

$$\text{abs res18} = 0.431 - 0.000 \text{ A} - 0.000 \text{ B} - 0.000 \text{ C}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.4309	0.1073	4.01	0.002
A	-0.0000	0.1470	-0.00	1.000
B	-0.0000	0.1470	-0.00	1.000
C	-0.0000	0.1470	-0.00	1.000

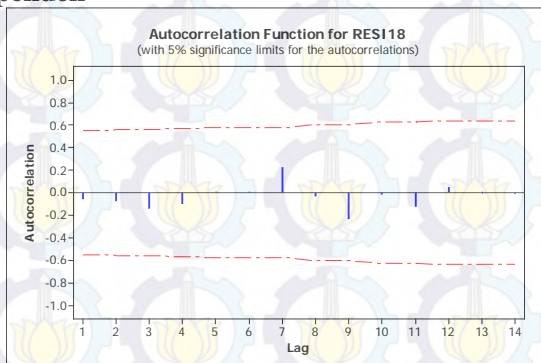
S = 0.415705 R-Sq = 0.0% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.0000	0.0000	0.00	1.000
Residual Error	11	1.9009	0.1728		
Total	14	1.9009			

Source	DF	Seq SS
A	1	0.0000
B	1	0.0000
C	1	0.0000

➤ Independen



LAMPIRAN 56. *Output* Pengujian Asumsi Independen dan Identik Residual PC5

➤ Identik

Regression Analysis: abs res19 versus A, B, C

The regression equation is

$$\text{abs res19} = 0.367 + 0.0000 \text{ A} + 0.0000 \text{ B} - 0.0000 \text{ C}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.36729	0.07169	5.12	0.000
A	0.00000	0.09817	0.00	1.000
B	0.00000	0.09817	0.00	1.000
C	-0.00000	0.09817	-0.00	1.000

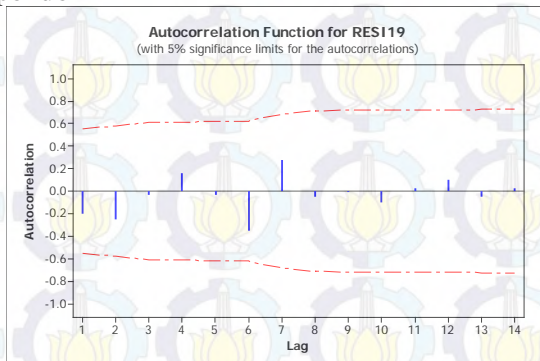
S = 0.277654 R-Sq = 0.0% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.00000	0.00000	0.00	1.000
Residual Error	11	0.84801	0.07709		
Total	14	0.84801			

Source	DF	Seq SS
A	1	0.00000
B	1	0.00000
C	1	0.00000

➤ Independen



LAMPIRAN 57. Program *Desirability*

```

function y = programbaru(x)
m1=-1.3624*(x(:,1))-1.0987*(x(:,2))-1.2045*(x(:,3));
m2=(2.1856*(x(:,1)).^2)-(0.1750*(x(:,2)).^2)+(1.0141*(x(:,3)).^2);
k12=x(:,1)*x(:,2)';
d12=diag(k12);
k13=x(:,1)*x(:,3)';
d13=diag(k13);
k23=x(:,2)*x(:,3)';
d23=diag(k23);
m3=(-1.4056*(d12))+(-0.8638*(d13))+(-0.4429*(d23));
m=-1.6132+m1+m2+m3
e1=0.5845*(x(:,1))+0.6845*(x(:,2))+0.3758*(x(:,3));
e2=(1.3716*(x(:,1)).^2)+(0.7390*(x(:,2)).^2)-(0.1485*(x(:,3)).^2);
e3=(-1.8362*(d12))+(-0.7153*(d13))+(-0.3233*(d23));
r =-1.0464+e1+e2+e3
f1=-0.5572*(x(:,1))+0.1525*(x(:,2))-0.1206*(x(:,3));
f2=(-1.3227*(x(:,1)).^2)-(0.1134*(x(:,2)).^2)-(1.5274*(x(:,3)).^2);
f3=(-1.2059*(d12))-(0.8925*(d13))+(0.0469*(d23));
p =1.5805+f1+f2+f3
g1=-0.3185*(x(:,1))+0.3641*(x(:,2))+0.8855*(x(:,3));
g2=(-0.1151*(x(:,1)).^2)-(0.5148*(x(:,2)).^2)+(0.1293*(x(:,3)).^2);
g3=(-0.1663*(d12))-(0.1994*(d13))-(1.2496*(d23));
q=0.1443+g1+g2+g3
h1=-0.2072*(x(:,1))-0.4084*(x(:,2))+0.3305*(x(:,3));
h2=(-0.1811*(x(:,1)).^2)-(0.9286*(x(:,2)).^2)-(0.2401*(x(:,3)).^2);
h3=(-0.3747*(d12))+(0.8081*(d13))+(0.9591*(d23));
s=0.7199+h1+h2+h3
n=length(m);
for i=1:n
if (m(i)<-9.2543)
df1(i)=0;
elseif (m(i)<-3.8666)
df1(i)=((m(i)+9.2543)/(-3.8666+9.2543)).^0.2;
elseif (m(i)<-2.8501)
df1(i)=((m(i)+2.8501)/(-3.8666+2.8501)).^0.2;
else
df1(i)=0;
end
if (r(i)<-6.3397)
df2(i)=0;
elseif (r(i)<-4.0390)

```

LAMPIRAN 57. Program *Desirability* (Lanjutan)

```

df2(i)=((r(i)+6.3397)/(-4.0390+6.3397)).^0.2;
elseif (r(i)<2.1468)
    df2(i)=(r(i)-2.1468)/(-4.0390-2.1468)).^0.2;
else
    df2(i)=0;
end
if (p(i)<-5.0526)
    df3(i)=0;
elseif (p(i)<-4.1879)
    df3(i)=((p(i)+5.0526)/(-4.1879+5.0526)).^0.2;
elseif (p(i)<-0.8565)
    df3(i)=((p(i)+0.8565)/(-4.1879+0.8565)).^0.2;
else
    df3(i)=0;
end
if (q(i)<-5.9572)
    df4(i)=0;
elseif (q(i)<-3.3222)
    df4(i)=((q(i)+5.9572)/(-3.3222+5.9572)).^0.2;
elseif (q(i)<-1.6744)
    df4(i)=((q(i)+1.6744)/(-3.3222+1.6744)).^0.2;
else
    df4(i)=0;
end
if (s(i)<-4.5525)
    df5(i)=0;
elseif (s(i)<-3.6130)
    df5(i)=((s(i)+4.5525)/(-3.6130+4.5525)).^0.2;
elseif (s(i)<2.4968)
    df5(i)=((s(i)-2.4968)/(-3.6130-2.4968)).^0.2;
else
    df5(i)=0;
end
end
df1
df2
df3
df4
df5
for i=1:n
    globaldesirability(i)=df1(i)*df2(i)*df3(i)*df4(i)*df5(i);
    y(i)=-globaldesirability(i)
end
end

```

LAMPIRAN 58. Program Nonlinier

```

function [c,ceq] = nonlinier(x)
c1 = -0.6743-0.4995*x(1)-0.3604*x(2)-0.6069*x(3)-0.6680*x(1)^2-
0.8451*x(2)^2+0.0021*x(3)^2+0.5184*x(1)*x(2)-
0.3540*x(1)*x(3)+0.6322*x(2)*x(3);
c2 = -
2.3603+0.4995*x(1)+0.3604*x(2)+0.6069*x(3)+0.6680*x(1)^2+0.8451*x(2)
^2-0.0021*x(3)^2-0.5184*x(1)*x(2)+0.3540*x(1)*x(3)-0.6322*x(2)*x(3);
c3 = -11.4693+0.6625*x(1)+0.7060*x(2)+0.4127*x(3)-
0.6517*x(1)^2+0.2172*x(2)^2-
0.4127*x(3)^2+0.1738*x(1)*x(2)+0.0217*x(1)*x(3)+0.7168*x(2)*x(3);
c4 = -2.4329-0.6625*x(1)-0.7060*x(2)-0.4127*x(3)+0.6517*x(1)^2-
0.2172*x(2)^2+0.4127*x(3)^2-0.1738*x(1)*x(2)-0.0217*x(1)*x(3)-
0.7168*x(2)*x(3);
c5 = -1.2809+0.4803*x(1)+0.3968*x(2)+0.4594*x(3)-
0.8841*x(1)^2+0.2854*x(2)^2-
0.2576*x(3)^2+1.1277*x(1)*x(2)+0.2506*x(1)*x(3);

c6 = -2.0604-0.4803*x(1)-0.3968*x(2)-0.4594*x(3)+0.8841*x(1)^2-
0.2854*x(2)^2+0.2576*x(3)^2-1.1277*x(1)*x(2)-0.2506*x(1)*x(3);
c7 = -
2.9609+0.5237*x(1)+0.6913*x(2)+0.3353*x(3)+0.8939*x(1)^2+0.3073*x(2)
^2+0.5168*x(3)^2-0.4190*x(1)*x(2)+0.7123*x(1)*x(3)+0.0419*x(2)*x(3);
c8 = -0.3811-0.5237*x(1)-0.6913*x(2)-0.3353*x(3)-0.8939*x(1)^2-
0.3073*x(2)^2-0.5168*x(3)^2+0.4190*x(1)*x(2)-0.7123*x(1)*x(3)-
0.0419*x(2)*x(3);
c9 = -0.5012+0.4855*x(1)+0.5795*x(2)+0.6265*x(3)-0.8458*x(1)^2-
0.2819*x(2)^2+0.0627*x(3)^2+0.3759*x(1)*x(2)-0.0313*x(1)*x(3)-
0.7205*x(2)*x(3);
c10 = -2.0048-0.4855*x(1)-0.5795*x(2)-
0.6265*x(3)+0.8458*x(1)^2+0.2819*x(2)^2-0.0627*x(3)^2-
0.3759*x(1)*x(2)+0.0313*x(1)*x(3)+0.7205*x(2)*x(3);
c11 = -0.444+0.3067*x(1)+0.3067*x(2)+0.3505*x(3)-1.3553*x(1)^2-
0.7945*x(2)^2-
0.1811*x(3)^2+0.6309*x(1)*x(2)+0.1928*x(1)*x(3)+0.4381*x(2)*x(3);
c12 = -3.0610-0.3067*x(1)-0.3067*x(2)-
0.3505*x(3)+1.3553*x(1)^2+0.7945*x(2)^2+0.1811*x(3)^2-
0.6309*x(1)*x(2)-0.1928*x(1)*x(3)-0.4381*x(2)*x(3);
c13 = -1.3175+0.2919*x(1)+0.3818*x(2)+0.7186*x(3)-0.6213*x(1)^2-
0.1722*x(2)^2-0.4866*x(3)^2+1.0330*x(1)*x(2)+0.5390*x(1)*x(3)-
0.1797*x(2)*x(3);

```


LAMPIRAN 58. Program Nonlinier (Lanjutan)

```

c14 = -2.2757-0.2919*x(1)-0.3818*x(2)-
0.7186*x(3)+0.6213*x(1)^2+0.1722*x(2)^2+0.4866*x(3)^2-
1.0330*x(1)*x(2)-0.5390*x(1)*x(3)+0.1797*x(2)*x(3);
c15 = -
0.6914+0.3241*x(1)+0.3306*x(2)+0.1504*x(3)+0.1100*x(1)^2+0.1292*x(2)^2-
0.7695*x(3)^2-0.9768*x(1)*x(2)+0.5208*x(1)*x(3)+0.6940*x(2)*x(3);
c16 = -0.6191-0.3241*x(1)-0.3306*x(2)-0.1504*x(3)-0.1100*x(1)^2-
0.1292*x(2)^2+0.7695*x(3)^2+0.9768*x(1)*x(2)-0.5208*x(1)*x(3)-
0.6940*x(2)*x(3);
c17 = -1.6512-0.2827*x(1)-0.5067*x(2)+0.4595*x(3)+0.4183*x(1)^2-
0.6818*x(2)^2+0.5805*x(3)^2+0.0233*x(1)*x(2)+0.4756*x(1)*x(3)-
0.2583*x(2)*x(3);
c18 = -1.2287+0.2827*x(1)+0.5067*x(2)-0.4595*x(3)-
0.4183*x(1)^2+0.6818*x(2)^2-0.5805*x(3)^2-0.0233*x(1)*x(2)-
0.4756*x(1)*x(3)+0.2583*x(2)*x(3);
c19 = -0.1585-0.6115*x(1)-0.0005*x(2)-0.0675*x(3)+0.5714*x(1)^2-
0.2120*x(2)^2+0.2260*x(3)^2-1.2482*x(1)*x(2)-0.2924*x(1)*x(3)-
0.1613*x(2)*x(3);
c20 = -1.7960+0.6115*x(1)+0.0005*x(2)+0.0675*x(3)-
0.5714*x(1)^2+0.2120*x(2)^2-
0.2260*x(3)^2+1.2482*x(1)*x(2)+0.2924*x(1)*x(3)+0.1613*x(2)*x(3);
c21 = -3.5823+0.5321*x(1)-0.1678*x(2)-0.0148*x(3)+0.8749*x(1)^2-
0.1811*x(2)^2+0.7347*x(3)^2+0.0861*x(1)*x(2)+0.8769*x(1)*x(3)+0.7957*x(2)*x(3);
c22 = -0.3618-0.5321*x(1)+0.1678*x(2)+0.0148*x(3)-
0.8749*x(1)^2+0.1811*x(2)^2-0.7347*x(3)^2-0.0861*x(1)*x(2)-
0.8769*x(1)*x(3)-0.7957*x(2)*x(3);
c23 = -1.3207+0.3836*x(1)-0.2611*x(2)-0.2877*x(3)-
0.4047*x(1)^2+0.7674*x(2)^2+0.2272*x(3)^2+0.4688*x(1)*x(2)+0.3468*x(1)*x(3)+
0.0804*x(2)*x(3);
c24 = -0.1056-0.3836*x(1)+0.2611*x(2)+0.2877*x(3)+0.4047*x(1)^2-
0.7674*x(2)^2-0.2272*x(3)^2-0.4688*x(1)*x(2)-0.3468*x(1)*x(3)-
0.0804*x(2)*x(3);
c25 = -0.1619-0.0174*x(1)+0.1592*x(2)+0.3724*x(3)-0.9552*x(1)^2-
0.0380*x(2)^2-
1.0950*x(3)^2+1.0426*x(1)*x(2)+0.0540*x(1)*x(3)+0.0500*x(2)*x(3);
c26 = -2.5126+0.0174*x(1)-0.1592*x(2)-
0.3724*x(3)+0.9552*x(1)^2+0.0380*x(2)^2+1.0950*x(3)^2-
1.0426*x(1)*x(2)-0.0540*x(1)*x(3)-0.0500*x(2)*x(3);

```

LAMPIRAN 58. Program Nonlinier (Lanjutan)

```

c27 = -1.0549+0.3323*x(1)+0.0248*x(2)+0.4557*x(3)-
0.9441*x(1)^2+0.1279*x(2)^2-
0.5755*x(3)^2+0.1804*x(1)*x(2)+0.7243*x(1)*x(3)+0.6168*x(2)*x(3);
c28 = -0.6118-0.3323*x(1)-0.0248*x(2)-0.4557*x(3)+0.9441*x(1)^2-
0.1279*x(2)^2+0.5755*x(3)^2-0.1804*x(1)*x(2)-0.7243*x(1)*x(3)-
0.6168*x(2)*x(3);
c =
[c1;c2;c3;c4;c5;c6;c7;c8;c9;c10;c11;c12;c13;c14;c15;c16;c17;c18;c19;c20;c
21;c22;c23;c24;c25;c26;c27;c28];
ceq = [] ;
end

```

LAMPIRAN 59. Uji *Bartlett Sphericity***KMO and Bartlett's Test**

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.660
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	65.286
	df	21
	Sig.	.000

LAMPIRAN 60. Output Response Surface Bore Diameter

Response Surface Regression: C8, C9, C10, C11, C12, C13, C14 versus A, B, C

Response Surface Regression: C8 versus A, B, C

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for C8

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	29.0233	0.04596	631.423	0.000
A	0.0988	0.02815	3.508	0.017
B	0.0712	0.02815	2.531	0.052
C	0.1200	0.02815	4.263	0.008
A*A	0.1321	0.04143	3.188	0.024
B*B	0.1671	0.04143	4.033	0.010
C*C	-0.0004	0.04143	-0.010	0.992
A*B	-0.1025	0.03981	-2.575	0.050
A*C	0.0700	0.03981	1.758	0.139
B*C	-0.1250	0.03981	-3.140	0.026

S = 0.0796137 PRESS = 0.25865

R-Sq = 94.21% R-Sq(pred) = 52.74% R-Sq(adj) = 83.79%

Analysis of Variance for C8

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0.515602	0.515602	0.057289	9.04	0.013
Linear	3	0.233825	0.233825	0.077942	12.30	0.010
A	1	0.078013	0.078013	0.078013	12.31	0.017
B	1	0.040612	0.040612	0.040612	6.41	0.052
C	1	0.115200	0.115200	0.115200	18.18	0.008
Square	3	0.157652	0.157652	0.052551	8.29	0.022
A*A	1	0.053920	0.064416	0.064416	10.16	0.024
B*B	1	0.103731	0.103078	0.103078	16.26	0.010
C*C	1	0.000001	0.000001	0.000001	0.00	0.992
Interaction	3	0.124125	0.124125	0.041375	6.53	0.035
A*B	1	0.042025	0.042025	0.042025	6.63	0.050
A*C	1	0.019600	0.019600	0.019600	3.09	0.139
B*C	1	0.062500	0.062500	0.062500	9.86	0.026
Residual Error	5	0.031692	0.031692	0.006338		
Lack-of-Fit	3	0.013625	0.013625	0.004542	0.50	0.718
Pure Error	2	0.018067	0.018067	0.009033		
Total	14	0.547293				

Estimated Regression Coefficients for C8 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	29.0233
A	0.0987500
B	0.0712500
C	0.120000
A*A	0.132083
B*B	0.167083
C*C	-4.16667E-04
A*B	-0.102500
A*C	0.0700000
B*C	-0.125000

LAMPIRAN 61. Output Response Surface Netto**Response Surface Regression: C9 versus A, B, C**

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for C9

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	15.3200	0.02269	675.080	0.000
A	-0.0762	0.01390	-5.487	0.003
B	-0.0813	0.01390	-5.847	0.002
C	-0.0475	0.01390	-3.418	0.019
A*A	0.0750	0.02046	3.666	0.014
B*B	-0.0250	0.02046	-1.222	0.276
C*C	0.0475	0.02046	2.322	0.068
A*B	-0.0200	0.01965	-1.018	0.356
A*C	-0.0025	0.01965	-0.127	0.904
B*C	-0.0825	0.01965	-4.198	0.009

S = 0.0393065 PRESS = 0.0796

R-Sq = 95.83% R-Sq(pred) = 57.08% R-Sq(adj) = 88.34%

Analysis of Variance for C9

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0.177715	0.177715	0.019746	12.78	0.006
Linear	3	0.117375	0.117375	0.039125	25.32	0.002
A	1	0.046512	0.046512	0.046512	30.11	0.003
B	1	0.052813	0.052813	0.052813	34.18	0.002
C	1	0.018050	0.018050	0.018050	11.68	0.019
Square	3	0.031490	0.031490	0.010497	6.79	0.033
A*A	1	0.020110	0.020769	0.020769	13.44	0.014
B*B	1	0.003050	0.002308	0.002308	1.49	0.276
C*C	1	0.008331	0.008331	0.008331	5.39	0.068
Interaction	3	0.028850	0.028850	0.009617	6.22	0.038
A*B	1	0.001600	0.001600	0.001600	1.04	0.356
A*C	1	0.000025	0.000025	0.000025	0.02	0.904
B*C	1	0.027225	0.027225	0.027225	17.62	0.009
Residual Error	5	0.007725	0.007725	0.001545		
Lack-of-Fit	3	0.004525	0.004525	0.001508	0.94	0.552
Pure Error	2	0.003200	0.003200	0.001600		
Total	14	0.185440				

Estimated Regression Coefficients for C9 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	15.3200
A	-0.0762500
B	-0.0812500
C	-0.0475000
A*A	0.0750000
B*B	-0.0250000
C*C	0.0475000
A*B	-0.0200000
A*C	-0.00250000
B*C	-0.0825000

LAMPIRAN 62. Output Response Surface Ketebalan Dinding s1

Response Surface Regression: C10 versus A, B, C						
The analysis was done using coded units.						
Estimated Regression Coefficients for C10						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	0.876667	0.009098	96.356	0.000		
A	-0.028750	0.005572	-5.160	0.004		
B	-0.023750	0.005572	-4.263	0.008		
C	-0.027500	0.005572	-4.936	0.004		
A*A	0.052917	0.008201	6.452	0.001		
B*B	-0.017083	0.008201	-2.083	0.092		
C*C	0.015417	0.008201	1.880	0.119		
A*B	-0.067500	0.007879	-8.567	0.000		
A*C	-0.015000	0.007879	-1.904	0.115		
B*C	-0.000000	0.007879	-0.000	1.000		
S = 0.0157586 PRESS = 0.01345						
R-Sq = 97.52% R-Sq(pred) = 73.19% R-Sq(adj) = 93.07%						
Analysis of Variance for C10						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0.048918	0.048918	0.005435	21.89	0.002
Linear	3	0.017175	0.017175	0.005725	23.05	0.002
A	1	0.006613	0.006613	0.006613	26.63	0.004
B	1	0.004512	0.004512	0.004512	18.17	0.008
C	1	0.006050	0.006050	0.006050	24.36	0.004
Square	3	0.012618	0.012618	0.004206	16.94	0.005
A*A	1	0.010501	0.010339	0.010339	41.63	0.001
B*B	1	0.001240	0.001078	0.001078	4.34	0.092
C*C	1	0.000878	0.000878	0.000878	3.53	0.119
Interaction	3	0.019125	0.019125	0.006375	25.67	0.002
A*B	1	0.018225	0.018225	0.018225	73.39	0.000
A*C	1	0.000900	0.000900	0.000900	3.62	0.115
B*C	1	0.000000	0.000000	0.000000	0.00	1.000
Residual Error	5	0.001242	0.001242	0.000248		
Lack-of-Fit	3	0.000775	0.000775	0.000258	1.11	0.507
Pure Error	2	0.000467	0.000467	0.000233		
Total	14	0.050160				
Estimated Regression Coefficients for C10 using data in uncoded units						
Term	Coef					
Constant	0.876667					
A	-0.0287500					
B	-0.0237500					
C	-0.0275000					
A*A	0.0529167					
B*B	-0.0170833					
C*C	0.0154167					
A*B	-0.0675000					
A*C	-0.0150000					
B*C	-4.55050E-17					

LAMPIRAN 63. Output Response Surface Ketebalan Dinding s2**Response Surface Regression: C11 versus A, B, C**

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for C11

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.876667	0.010775	81.358	0.000
A	-0.031250	0.006599	-4.736	0.005
B	-0.041250	0.006599	-6.251	0.002
C	-0.020000	0.006599	-3.031	0.029
A*A	-0.053333	0.009713	-5.491	0.003
B*B	-0.018333	0.009713	-1.888	0.118
C*C	-0.030833	0.009713	-3.174	0.025
A*B	0.025000	0.009332	2.679	0.044
A*C	-0.042500	0.009332	-4.554	0.006
B*C	-0.002500	0.009332	-0.268	0.799

S = 0.0186637 PRESS = 0.02145

R-Sq = 96.51% R-Sq(pred) = 56.96% R-Sq(adj) = 90.22%

Analysis of Variance for C11

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0.048098	0.048098	0.005344	15.34	0.004
Linear	3	0.024625	0.024625	0.008208	23.56	0.002
A	1	0.007812	0.007812	0.007812	22.43	0.005
B	1	0.013612	0.013612	0.013612	39.08	0.002
C	1	0.003200	0.003200	0.003200	9.19	0.029
Square	3	0.013723	0.013723	0.004574	13.13	0.008
A*A	1	0.009267	0.010503	0.010503	30.15	0.003
B*B	1	0.000946	0.001241	0.001241	3.56	0.118
C*C	1	0.003510	0.003510	0.003510	10.08	0.025
Interaction	3	0.009750	0.009750	0.003250	9.33	0.017
A*B	1	0.002500	0.002500	0.002500	7.18	0.044
A*C	1	0.007225	0.007225	0.007225	20.74	0.006
B*C	1	0.000025	0.000025	0.000025	0.07	0.799
Residual Error	5	0.001742	0.001742	0.000348		
Lack-of-Fit	3	0.001275	0.001275	0.000425	1.82	0.374
Pure Error	2	0.000467	0.000467	0.000233		
Total	14	0.049840				

Estimated Regression Coefficients for C11 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0.876667
A	-0.0312500
B	-0.0412500
C	-0.0200000
A*A	-0.0533333
B*B	-0.0183333
C*C	-0.0308333
A*B	0.0250000
A*C	-0.0425000
B*C	-0.0025000

LAMPIRAN 64. Output Response Surface Ketebalan Dinding s3

Response Surface Regression: C12 versus A, B, C

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for C12					
Term	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	0.340000	0.01784	19.056	0.000	
A	-0.038750	0.01093	-3.547	0.016	
B	-0.046250	0.01093	-4.233	0.008	
C	-0.050000	0.01093	-4.576	0.006	
A*A	0.067500	0.01608	4.197	0.009	
B*B	0.022500	0.01608	1.399	0.221	
C*C	-0.005000	0.01608	-0.311	0.768	
A*B	-0.030000	0.01545	-1.942	0.110	
A*C	0.002500	0.01545	0.162	0.878	
B*C	0.057500	0.01545	3.721	0.014	

S = 0.0309031 PRESS = 0.02415

R-Sq = 94.65% R-Sq(pred) = 72.92% R-Sq(adj) = 85.01%

Analysis of Variance for C12

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0.084398	0.084398	0.009378	9.82	0.011
Linear	3	0.049125	0.049125	0.016375	17.15	0.005
A	1	0.012012	0.012012	0.012012	12.58	0.016
B	1	0.017112	0.017112	0.017112	17.92	0.008
C	1	0.020000	0.020000	0.020000	20.94	0.006
Square	3	0.018423	0.018423	0.006141	6.43	0.036
A*A	1	0.016386	0.016823	0.016823	17.62	0.009
B*B	1	0.001945	0.001869	0.001869	1.96	0.221
C*C	1	0.000092	0.000092	0.000092	0.10	0.768
Interaction	3	0.016850	0.016850	0.005617	5.88	0.043
A*B	1	0.003600	0.003600	0.003600	3.77	0.110
A*C	1	0.000025	0.000025	0.000025	0.03	0.878
B*C	1	0.013225	0.013225	0.013225	13.85	0.014
Residual Error	5	0.004775	0.004775	0.000955		
Lack-of-Fit	3	0.000975	0.000975	0.000325	0.17	0.908
Pure Error	2	0.003800	0.003800	0.001900		
Total	14	0.089173				

Estimated Regression Coefficients for C12 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0.340000
A	-0.0387500
B	-0.0462500
C	-0.0500000
A*A	0.0675000
B*B	0.0225000
C*C	-0.0050000
A*B	-0.0300000
A*C	0.0025000
B*C	0.0575000

LAMPIRAN 65. Output Response Surface Ketebalan Dinding s4**Response Surface Regression: C13 versus A, B, C**

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for C13

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.46333	0.02469	18.768	0.000
A	-0.04375	0.01512	-2.894	0.034
B	-0.04375	0.01512	-2.894	0.034
C	-0.05000	0.01512	-3.307	0.021
A*A	0.19333	0.02225	8.688	0.000
B*B	0.11333	0.02225	5.093	0.004
C*C	0.02583	0.02225	1.161	0.298
A*B	-0.09000	0.02138	-4.210	0.008
A*C	-0.02750	0.02138	-1.286	0.255
B*C	-0.06250	0.02138	-2.923	0.033

S = 0.0427590 PRESS = 0.10135

R-Sq = 96.79% R-Sq(pred) = 64.43% R-Sq(adj) = 91.02%

Analysis of Variance for C13

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0.275752	0.275752	0.030639	16.76	0.003
Linear	3	0.050625	0.050625	0.016875	9.23	0.018
A	1	0.015312	0.015312	0.015312	8.38	0.034
B	1	0.015313	0.015313	0.015313	8.38	0.034
C	1	0.020000	0.020000	0.020000	10.94	0.021
Square	3	0.174077	0.174077	0.058026	31.74	0.001
A*A	1	0.125563	0.138010	0.138010	75.48	0.000
B*B	1	0.046050	0.047426	0.047426	25.94	0.004
C*C	1	0.002464	0.002464	0.002464	1.35	0.298
Interaction	3	0.051050	0.051050	0.017017	9.31	0.017
A*B	1	0.032400	0.032400	0.032400	17.72	0.008
A*C	1	0.003025	0.003025	0.003025	1.65	0.255
B*C	1	0.015625	0.015625	0.015625	8.55	0.033
Residual Error	5	0.009142	0.009142	0.001828		
Lack-of-Fit	3	0.005875	0.005875	0.001958	1.20	0.485
Pure Error	2	0.003267	0.003267	0.001633		
Total	14	0.284893				

Estimated Regression Coefficients for C13 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0.463333
A	-0.0437500
B	-0.0437500
C	-0.0500000
A*A	0.193333
B*B	0.113333
C*C	0.0258333
A*B	-0.0900000
A*C	-0.0275000
B*C	-0.0625000

LAMPIRAN 66. Output Response Surface Ketebalan Dinding s6

Response Surface Regression: C14 versus A, B, C

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for C14				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.773333	0.007710	100.302	0.000
A	-0.016250	0.004721	-3.442	0.018
B	-0.021250	0.004721	-4.501	0.006
C	-0.040000	0.004721	-8.472	0.000
A*A	0.034583	0.006950	4.976	0.004
B*B	0.009583	0.006950	1.379	0.226
C*C	0.027083	0.006950	3.897	0.011
A*B	-0.057500	0.006677	-8.612	0.000
A*C	-0.030000	0.006677	-4.493	0.006
B*C	0.010000	0.006677	1.498	0.194

S = 0.0133542 PRESS = 0.00235

R-Sq = 97.94% R-Sq(pred) = 94.58% R-Sq(adj) = 94.24%

Analysis of Variance for C14

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0.042482	0.042482	0.004720	26.47	0.001
Linear	3	0.018525	0.018525	0.006175	34.63	0.001
A	1	0.002112	0.002112	0.002112	11.85	0.018
B	1	0.003612	0.003612	0.003612	20.26	0.006
C	1	0.012800	0.012800	0.012800	71.78	0.000
Square	3	0.006732	0.006732	0.002244	12.58	0.009
A*A	1	0.003814	0.004416	0.004416	24.76	0.004
B*B	1	0.000209	0.000339	0.000339	1.90	0.226
C*C	1	0.002708	0.002708	0.002708	15.19	0.011
Interaction	3	0.017225	0.017225	0.005742	32.20	0.001
A*B	1	0.013225	0.013225	0.013225	74.16	0.000
A*C	1	0.003600	0.003600	0.003600	20.19	0.006
B*C	1	0.000400	0.000400	0.000400	2.24	0.194
Residual Error	5	0.000892	0.000892	0.000178		
Lack-of-Fit	3	0.000025	0.000025	0.000008	0.02	0.995
Pure Error	2	0.000867	0.000867	0.000433		
Total	14	0.043373				

Estimated Regression Coefficients for C14 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0.773333
A	-0.0162500
B	-0.0212500
C	-0.0400000
A*A	0.0345833
B*B	0.0095833
C*C	0.0270833
A*B	-0.0575000
A*C	-0.0300000
B*C	0.0100000



DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, Z. (2005). *Analisis Optimasi Proses Pembuatan Botol Produk Johnson's Baby Oil 50 ml pada Mesin Blow Molding dengan Menggunakan Metode Response Surface*. Tugas Akhir, ITS, Surabaya.
- Amrillah, R. (2006). *Penentuan Setting Parameter Pada Proses Blow Molding Dengan Menggunakan Metode Response Surface*. Tugas Akhir, ITS, Surabaya.
- Belofsky, H. (1995). *Plastic : Product Design and Process Engineering*. Hanser Publisher.
- Daniel, W. W. (1989). *Statistik Nonparametrik Terapan*. Jakarta: PT.Gramedia.
- Derringer, G., & Suich, R. (1980). Simultaneous Optimization of Several Response Variables. *Journal of Quality Technology*, 12, 214-219.
- Draper, N. R., & Smith, H. (1996). *Analisis Regresi Terapan* (Edisi Kedua ed.). Jakarta: PT.Gramedia Pustaka Utama Jakarta.
- Gujarati, N. D. (2004). *Basic Econometrics* (4th ed.). New York: The Mc Graw-Hill Companies.
- Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis* (6th ed.). USA: Pearson Education Inc.
- Kaiser, H. F. (1960). The Application of Electronic Computers of Factor Analysis. *Educ. Psychol. Meas*, 20, 141-151.
- Kemenperin. (2013). *Industri Plastik Harus Terus Dikembangkan*. Diakses pada tanggal 10 Oktober 2014 Jam 18.44 <http://kemenperin.go.id/artikel/4709/Industri-Plastik-Harus-Terus-Dikembangkan>

- Montgomery, D. C. (1997). *Design and Analysis of Experiments*. New York: John Wiley, Sons.
- Myers, R. H., & Montgomery, D. C. (2002). *Response Surface Methodology* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Patryadi, V. (2006). *Penentuan Setting Parameter Pada Proses Blow Molding Dengan Metode Taguchi Atribut*. Tugas Akhir, ITS, Surabaya.
- Salmasnia, A., Kazemzadeh, R. B., & Niaki, S. T. (2012). An Approach to Optimize Correlated Multiple Response Using Principal Component Analysis and Desirability Function. *Journal of Industrial Engineering*.
- Setyawan, N. (2008). *Penentuan Setting Parameter Pada Proses Blow Molding Mesin Automa Plus AT2DS*. Tugas Akhir, ITS, Surabaya.
- Su, C. T., & Tong, L. I. (1997). Multi Response Robust Design by Principal Component Analysis. *Total Quality Management*, 8, 409-416.
- Wei, W. W. (2006). *Time Series Analysis Univariate and Multivariate*. USA: Pearson Addison Wesley.

BIODATA PENULIS



Penulis, Reta Noorina Prastika lahir di Magetan pada tanggal 13 November 1992. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis mengenyam pendidikan di Magetan kemudian merantau ke Madiun. Penulis menempuh studi di SDN Bogem 1 (1999-2005) kemudian melanjutkan studi di SMPN 1 Kawedanan (2005-2008) dan SMAN 1 Madiun (2008-2011). Akhirnya, penulis diterima di Jurusan Statistika ITS pada tahun 2011 melalui SNMPTN Jalur Tertulis.

Selama menempuh kuliah di Jurusan Statistika ITS, penulis pernah menjadi asisten dosen serta aktif di organisasi kemahasiswaan. Penulis pernah menjadi staf Departemen Sains dan Teknologi BEM FMIPA ITS periode 2012/2013 dan staf HRD Divisi PSt HIMASTA ITS periode 2012/2013 serta Sekretaris Divisi PSt HIMASTA ITS periode 2013/2014. Selain itu, penulis pernah mengikuti kompetisi analisis data tingkat Nasional dan menjadi juara 2 kompetisi National Statistics Challenge (NSC) 2014 yang diselenggarakan oleh Studio Statistika Universitas Brawijaya.

Semoga Tugas Akhir ini memberikan manfaat dan wawasan berbagai pihak. Segala saran dan kritik yang membangun selalu penulis harapkan untuk hasil yang lebih baik di masa mendatang. Penulis dapat dihubungi di reta1331@gmail.com.

